LA NATURE

REVUE DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS



LA GUINÉE FORESTIÈRE

Fougères arborescentes dans la forêt vierge des montagnes de Sérédou

(*Photo* A. S. Balachowsky).

N° 3229 – Mai 1954 Revue mensuelle Le Numéro : 200 francs

Actualités et informations

Le développement du bassin de la Columbia River

Un projet est à l'étude pour le développement du bassin de la Columbia River et de ses affluents, dans le nord-ouest des États-Unis. On se propose de créer des réserves d'eau, de contrôler les inondations, de permettre la navigation, l'irrigation et d'accroître la production d'énergie hydro-électrique. Cette région qui représente 9 pour 100 de la surface du territoire et qui contient 3 pour 100 de la population, fournit 45 pour 100 de l'aluminium, 20 pour 100 du plomb, 18 pour 100 du zinc, 10 pour 100 du cuivre, produits aux États-Unis. Son potentiel hydro-électrique est évalué à 40 pour 100 du potentiel total du territoire. Sa production actuelle de 4 500 000 kWh (dont 2 500 000 pour les barrages du Grand Coulee et de Bonneville) est insuffisante et on pense que la demande augmentera de 300 000 à 400 000 kWh par an. Le plus grand défaut de l'équipement actuel est le manque de barrages-réservoirs permettant la régularisation des cours d'eau ; des inondations désastreuses se sont produites en 1948.

* * *

Le canal reliant Amsterdam au Rhin, qui a été inauguré en mai 1952, a vu passer, durant l'année 1953, un nombre de navires plus important qu'aucun autre canal de navigation intérieure en Europe : à l'endroit où le canal atteint le bassin portuaire d'Amsterdam, on a enregistré le passage, dans l'une et l'autre directions, de 98 000 bateaux jaugeant au total 31,5 millions de tonnes.

* * *

D'après Chimie et Industrie, *près de 400 000 t de houille ont été exportées du Spitzberg en 1953, à bord de quatorze cargos, à destination de la Norvège, du Danemark et de l'Allemagne. Ces chiffres s'appliquent aux cinq mois (juin-novembre) où la navigation est possible dans ces parages.*

* * *

En dépit de la concurrence que leur font les industriels et les artisans orientaux, les fabricants de tapis algériens ne manquent pas d'activité. En 1952, l'Algérie a vendu plus de 60 000 tapis de haute laine dont la surface totale aurait recouvert plus de douze hectares. Pour les fabriquer, il a fallu utiliser environ 420 tonnes de laine.

SOMMAIRE

Le nombre des ruches en constante diminution

D'après le *Bulletin mensuel du Syndicat apicole d'Artois* de décembre 1953, l'apiculture française se trouverait, depuis un siècle, en régression constante. Ainsi, le nombre de ruches qui avait été de cinq millions en 1850 aurait évolué comme suit : 1890, 2 500 000 ruches ; 1929, 1 200 000 ; 1939, 600 000. En 1950, à la suite de l'utilisation de nouveaux insecticides, ce chiffre serait tombé à 300 000 ruches seulement.

* * *

Après de nombreux essais, un verrier de Wught, dans le Brabant du Nord, aux Pays-Bas, a réussi à remplacer, dans les vitraux, le plomb d'alliage par une matière plastique.

* * *

D'après des chiffres donnés par M. Kenneth Richardson, président de la Chambre des Mines du Transvaal et de l'État libre d'Orange, vingt-trois mines d'or exploitées par cinq compagnies, produisent de l'uranium en Afrique du Sud. D'autres vont s'y ajouter et la situation de l'Union, quant aux devises étrangères, en sera fort améliorée.

Recherches de bauxite dans les Antilles britanniques

La Guyane anglaise est déjà l'un des plus anciens et des plus importants pays producteurs de bauxite, approvisionnant notamment la très vivante industrie canadienne de l'aluminium. Des recherches sont actuellement entreprises à la Jamaïque et dans le Honduras britannique en vue de prospecter d'éventuels gisements de bauxite ; des études vont être également menées en vue de déterminer les ressources hydro-électriques de ces deux territoires.

* * *

Les toiles à côtes pour pneumatiques d'automobiles ou d'avions sont de plus en plus fabriquées à l'aide de fibres artificielles au lieu de coton. La rayonne de viscose, et maintenant le nylon, sont principalement utilisés. On estime aux États-Unis qu'en 1954, le marché sera dominé entièrement par les fibres artificielles, dont il a été produit plus de 53 000 t métriques au cours des six derniers mois de 1953. Au 1er janvier 1954, on évaluait à 3 pour 100 seulement le pourcentage des toiles pour pneumatiques fabriquées en coton. Cet état de choses n'est pas étranger à la crise de mévente que rencontre actuellement le coton sur le marché intérieur américain (pour 1954, il est vraisemblable que la consommation ne dépassera pas 9 millions de balles, alors que la production excède 11 millions).

* * *

Une conférence internationale de la recherche scientifique lainière se tiendra en 1955 en Australie. Les congressistes seront invités à visiter des centres d'élevage ainsi que les laboratoires installés dans les principaux centres de production : le laboratoire de physique et de mécanique à Sydney, le laboratoire de chimie des protéines à Melbourne, le laboratoire des recherches appliquées et la filature expérimentale de Geelong.

* * *

D'après la revue Chemical Engineering *d'octobre dernier, la production de fibres synthétiques et artificielles a augmenté de 200 pour 100 de 1937 à 1951, alors que celle des fibres naturelles n'a progressé que de 15 pour 100 pendant la même période.*

LA NATURE

Revue mensuelle

DUNOD, Éditeur

92, rue Bonaparte, PARIS-6e

C. C. P. Paris 75-45 — Tél. DAN. 99-15

ABONNEMENTS 1954

France et Union fse : un an : 2 000 francs six mois : 1 000 francs

Etranger (sauf Belgique et Luxembourg) : un an : 2 500 francs six mois : 1 250 francs

Belgique et Luxembourg : un an : 325 f belges six mois : 163 f belges

Changement d'adresse : 30 F en timbres-poste français ou l'équivalent en monnaie étrangère

N° 3229 Mai 1954

LA NATURE

LA GUINÉE FORESTIÈRE et les Monts Nimba

Le sud-est de la Guinée française est recouvert en majeure partie par la grande sylve équatoriale qui prolonge vers le nord la forêt dense ombrophile du Libéria et de la Côte d'Ivoire. D'où le nom de « Guinée forestière » qui a été donné à cette région d'environ 300 km de long (bordant au nord les frontières du Libéria et de la Sierra Leone) sur 100 à 150 km de profondeur. Elle est incluse géographiquement dans le périmètre Nzo-Beyla-Guéckédou et comprend des centres, comptoirs ou agglomérations importants tels que Nzérékoré, Macenta et le village de Sérédou (fig. 4). Cependant, il ne s'agit pas là d'une simple « enclave guinéenne » de la forêt de Côte d'Ivoire, mais d'un pays ayant sa physionomie particulière en raison des massifs montagneux qui s'y trouvent et qui appartiennent à la grande « dorsale » guinéenne. Les Monts Nimba atteignent 1 855 m au pic Richard Molard (fig. 1), point culminant de toute l'A.O.F.; la montagne de Sérédou dépasse 1 400 m. Le reste du pays est à des altitudes variables mais rarement inférieures à 500 m. Il diffère bien à cet égard de la Côte d'Ivoire qui, malgré les collines du pays de Man, reste un pays plat.

La Guinée forestière est entièrement soumise au régime du climat équatorial. La température y est élevée toute l'année (27°-28° C), n'accusant presque pas d'écarts. L'humidité atmosphérique atteint fréquemment la saturation (100 pour 100) : aussi, le disque solaire reste-t-il rouge jusqu'au milieu du jour. La saison des pluies y est fort longue (8 à 10 mois) et elle empiète même sur la saison sèche qui reçoit souvent des chutes intermittentes. Un ciel lourd et bas déverse sur la région 2,5 à 3 m d'eau par an, transformant le sol en une boue épaisse et répandant partout une atmosphère d'étuve.

La nébulosité intense tamise la lumière solaire et celle-ci est encore diminuée par le gigantesque écran de la forêt. Toute la vie s'écoule dans une pénombre perpétuelle qui influence intensément le caractère des hommes et des choses. L'action desséchante de l'harmattan, ce vent sahélo-saharien qui assainit tout le reste de la Guinée, est nulle en milieu forestier, même montagnard, qui reste en toute saison et à toute heure du jour un pays gorgé d'eau et partout imprégné d'humidité.

Sous un tel climat, la forêt a pris un développement gigantesque, mais son exubérance n'apparaît pas toujours à première vue. La hauteur réelle de ses « géants » aux fûts droits de 50 à 60 m d'envolée est diminuée pour l'œil par l'inextricable enlacement de lianes et les manchons denses des épiphytes recouvrant les branches. Cette végétation pend des frondaisons comme des milliers de stalactites de verdure, de racines aériennes qui descendent en vrille vers le sol, mais se perdent à mi-chemin dans un fouillis beaucoup plus serré encore, formé par les nombreuses essences secondaires de sous-bois masquant totalement un sol invisible (fig. 2 et figure de couverture).

On ne pénètre le « mur forestier » qu'à coup de « coupe-coupe »; après plusieurs heures d'efforts on y ouvre une brèche de quelques mètres qui se referme complètement quelques jours plus tard. Seuls, quelques rares sentiers, connus seulement des indigènes et laissant à peine passer un homme à demi



Fig. 1. — *Vue d'ensemble des Monts Nimba, prise du Pic Leclerc (1 650 m).* A l'arrière-plan, le Pic Richard Molard, point culminant de l'Afrique Occidentale Française (1 855 m).

(Photo A. S. Balachowsky).



Fig. 2. — *Vue sur la forêt vierge ombrophile à Sérédou.*
(*Photos* A. S. Balachowsky).



Fig. 3. — *Un marigot dans un bas-fond de la forêt vierge équatoriale en Guinée forestière.*

accroupi, mènent à des clairières lontaines et à des villages isolés où des tribus peu sociables vivent à l'abri de toute civilisation.

Dans les bas-fonds, des marigots aux eaux rougies de latérite n'offrent pas une voie de pénétration forestière plus sûre (fig. 3). Ils sont dominés eux aussi par des ponts d'épaisse verdure formant de véritables barrières au ras de l'eau. Les berges, peu accessibles, inhospitalières, servent de refuge à de nombreux serpents venimeux ou à des sangsues dont la morsure est cuisante. Il s'en échappe des essaims de moustiques et de « moutmout », ces minuscules Nématocères-Cératopogonides, si petits qu'ils traversent les mailles des moustiquaires; leurs piqûres rendent la vie intolérable dans de nombreuses régions de l'Afrique équatoriale humide. La tsé-tsé *(Glossina palpalis)* y trouve en permanence des gîtes de prédilection alors que les Tabanides (taons) se développent dans l'épaisse vase des hauts fonds recouverts de roseaux aux feuilles coupantes. Sous l'humus du sol spongieux d'où se dégage une odeur de moisissure, d'énormes scorpions tropicaux aux pinces d'écrevisse rampent dans l'obscurité ainsi que des scolopendres gigantesques dont la piqûre est dangereuse.

Bien qu'elle paraisse dépeuplée, silencieuse, la forêt grouille de vie; la nuit venue, des stridulations, des sifflements et des croassements étranges s'échappent de toutes parts alors que des yeux luminescents étincellent dans la lumière des phares. Le jour, un calme apparent, lugubre, presque hostile, remplace l'activité nocturne; il est seulement troublé de temps à autre par le vol bruyant et lourd du Grand Calao *(Bucorvus abyssinicus)*, toucan africain à allure de reptile volant préhistorique, et par les cris rauques des singes Colobes qui se pourchassent de liane en liane, sans jamais descendre à terre.

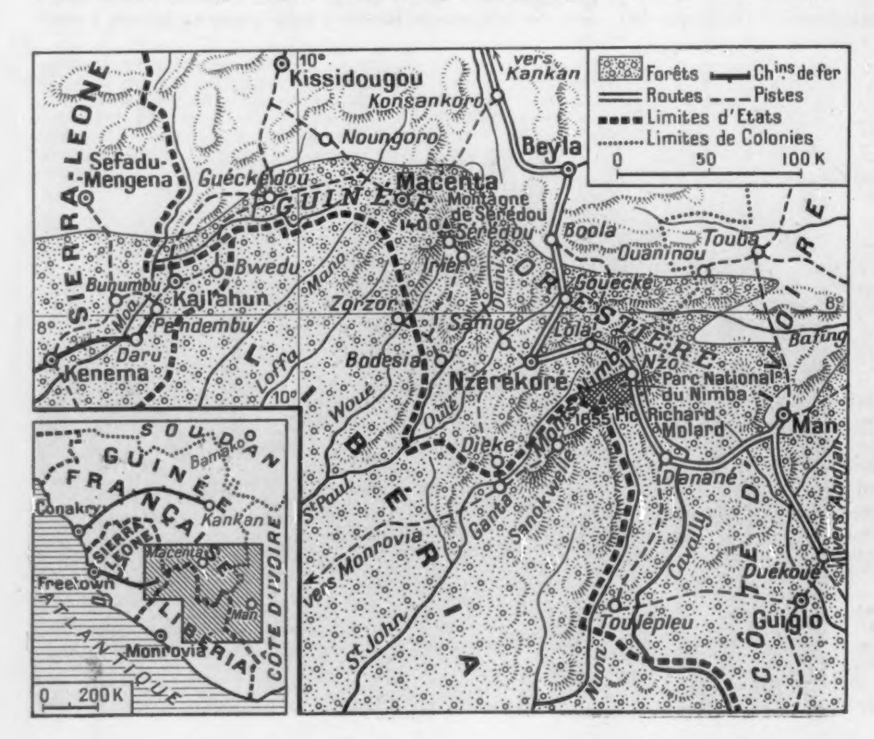


Fig. 4. — *La Guinée forestière et le nord du Libéria.*
En quadrillé, le Parc National du Nimba.

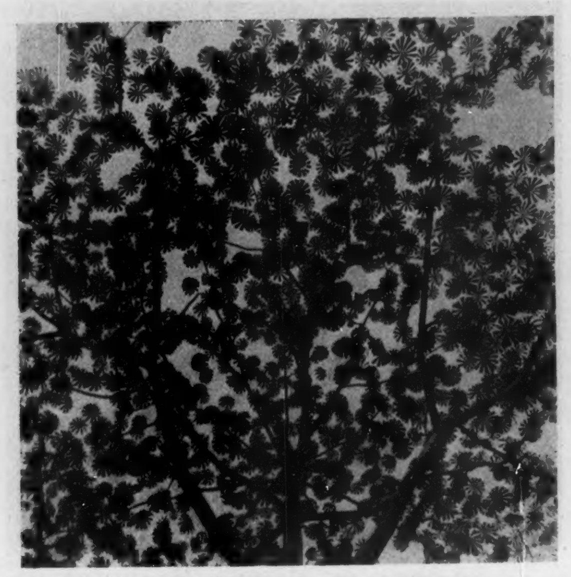


Fig. 5. — *Le feuillage du Parasollier.*
(*Photo* A. S. Balachowsky).

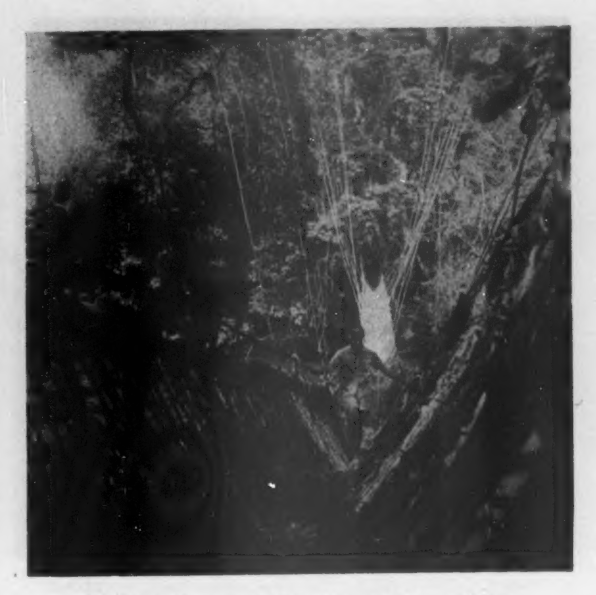


Fig. 6. — *Un pont de lianes traversant une rivière.*
(*Photo* A. S. Balachowsky).

Le climat est malsain, aussi funeste pour l'homme blanc que pour l'homme noir. L'effort sous toutes ses formes y est pesant, pénible. Une transpiration gluante envahit le corps, même au repos, à l'ombre des cases... Les vêtements restent toujours humides, collent sur la peau; ici tout moisit, cuir, laine, aliments, et tout rouille.

La grande sylve équatoriale ne perd jamais ses feuilles, sa végétation est continue, c'est le caractère propre de la forêt ombrophile *(rain forest, uhrwald)*; les essences à feuilles caduques *(deciduous forest)* n'apparaissent que plus au nord dans la savane arborée ou « guinéenne ». La forêt équatoriale se caractérise également par sa grande diversité botanique ainsi que par l'éparpillement, dans un même peuplement, de ses espèces arbustives. Rien de comparable ici à ce qui existe dans les forêts homogènes ou mixtes de chênes, de hêtres et de conifères des régions tempérées d'Europe et d'Amérique. Aubreville signale qu'en basse Côte d'Ivoire (Sasandra), on trouve un Acajou blanc *(Kaya anthotheca)* tous les 22 hectares, un Acajou rouge *(Kaya ivorensis)* tous les 12 hectares; certaines essences sont plus dispersées encore! Un tel éparpillement oblige à des méthodes d'exploitation ruineuses, nécessitant la création de multiples voies de pénétration et d'évacuation dans les blocs forestiers particulièrement rebelles. Cette structure, bien plus que les règlements administratifs, protège la forêt contre l'avidité dévastatrice de l'homme blanc.

Une fois abattue, la forêt primaire ne renaît plus jamais; elle est remplacée par une « forêt secondaire » où des essences à croissance rapide et de valeur négligeable prennent rapidement le dessus, étouffant les arbres à bois dur qui ont un faible pouvoir de régénération naturelle et une poussée plus lente. La broussaille de remplacement n'est ni moins serrée, ni moins hostile que la forêt primaire, elle est seulement différente dans sa structure et très inférieure en qualité. Dans bien des endroits, elle a disparu à son tour pour faire place à des formations tertiaires de hauteur réduite et à végétation plus entrelacée encore. Sur les lisières apparaît le Parasollier (fig. 5) au bois sans valeur mais au feuillage très décoratif.

Les feux de brousse, qui dévastent la savane, n'ont guère de prise sur la forêt dense, gorgée d'eau et ruisselante. Cependant, les coupes pratiquées par l'indigène et le débroussaillement nécessité par les cultures finissent par en avoir raison. C'est par le nord que la forêt meurt, à la limite de la « savane arborée », là où elle est le plus vulnérable et où sa défense naturelle est le moins assurée. Lorsque, du sommet des Nimba, la vue découvre une grande partie de la Guinée forestière, celle-ci apparaît au nord comme un vaste damier parsemé de taches claires déboisées; au sud et à l'est, tout reste uniformément vert sombre.

Une magnifique forêt ombrophile s'étale au pied des Monts Nimba et l'Institut Français de l'Afrique Noire (I.F.A.N.) a garanti sa pérennité en créant une vaste « Réserve naturelle »



Fig. 7. — *Piton conique typique des Monts Nimba avec pelouse dense de graminées.*



Fig. 8. — *Termitière géante en « cathédrale » de Bellicotermes natalensis en bordure d'une route.*
(*Photos* A. S. Balachowsky).



Fig. 9. — *Plantation de caféiers sur défrichement partiel de la forêt à la frontière de la Guinée et de la Côte d'Ivoire.*
Les gros arbres ont été respectés.

englobant l'ensemble du massif. Elle s'étend sur plusieurs milliers d'hectares jusqu'aux frontières de Côte d'Ivoire et de Libéria. La chasse, l'exploitation forestière sous toutes ses formes y sont rigoureusement interdites; la circulation même n'y est autorisée que pour des fins scientifiques.

Ce « Parc National » du Nimba, établi sur le modèle des grandes réserves britanniques d'Afrique orientale et du Congo belge, constitue la plus sûre sauvegarde pour la faune et la flore de ce pays. Un chalet accueillant, comprenant des laboratoires, une bibliothèque spécialisée, des chambres de séjour, permet aux chercheurs d'étudier *in situ* à la fois un des plus intéressants milieux forestiers africains et les montagnes les plus élevées d'A.O.F.

Il serait souhaitable de voir cette initiative s'étendre à d'autres régions de l'Afrique française afin de préserver, alors qu'il en est temps encore, sa faune la plus typique contre les déplorables massacres des amateurs de « trophées ».

Sur les pentes des Nimba, la grande sylve équatoriale primaire ombrophile remonte jusqu'à 800 m d'altitude et dans certains ravins exposés à l'est elle dépasse 1 000 m (fig. 10). Une zone de savane (1 000-1 200 m) puis une pelouse de graminées lui font suite presque sans transition en recouvrant uniformément tous les sommets. En période sèche, l'herbe jaunit et les pics se détachent sur le fond de la forêt « toujours verte ». Une grande diversité de « biotopes » caractérise cette région, offrant au naturaliste de nombreuses possibilités de travail. Les pics sont taillés en arête vive, en pitons ou en pains de sucre (fig. 7), leurs pentes sont très raides et la marche y est difficile sur un sol jonché de nodules ferrugineux, irréguliers, masqués par des touffes d'herbe où le pied se pose à tout instant en porte-à-faux. Des ravins profonds et des précipices jalonnent les crêtes. Après les pluies et par temps de brouillard, la montagne devient très glissante et dangereuse. Richard Molard, africaniste éminent de l'I.F.A.N., créateur de la Réserve du Nimba, y fit une chute mortelle le 30 juillet 1951; sa tombe, sobre et fleurie, borde aujourd'hui, au pied du chalet, la route Guinée-Côte d'Ivoire.

La grande forêt est peu peuplée, les villages y sont rares et très isolés. Dans certains districts particulièrement impénétrables et à peine explorés (ouest de la Côte d'Ivoire) la densité de la population est aussi faible qu'au Hoggar. Au contraire, sur toute sa limite nord, la forêt est beaucoup plus habitable, moins



Fig. 10. — *Sur les pentes nord des Monts Nimba.*
On voit la forêt vierge ombrophile qui, en altitude, fait place sans transition à une pelouse de graminées.
(*Photo* A. S. Balachowsky).



Fig. 11. — *Une aire de séchage du café en Guinée forestière.*
(*Photos* A. S. Balachowsky).



Fig. 12. — *Cases pyramidales typiques d'un village Toma.*
Les cases sont recouvertes de « tuiles » de palmier.

hostile à l'homme, plus facile à défricher ; la terre y est riche, profonde et donne de bonnes récoltes, souvent sans grands efforts. Les villages y sont nombreux et même prospères. Une population d'agriculteurs ou de néo-agriculteurs s'est substituée aux aborigènes qui vivaient presque exclusivement de chasse et de cueillette, sans hésiter à croquer grillons, termites, larves ou chenilles... (fig. 8). Des cultures importantes ont remplacé la forêt primaire, notamment celle du Caféier représenté exclusivement par les variétés productives africaines (*Coffea robusta*, *C. liberica*, etc.) qui forment de vastes plantations dans la partie orientale du pays, prolongeant celles de Man et de Danané en Côte d'Ivoire. La culture, presque toute indigène, se fait sur débroussaillement partiel de la forêt. Les plus gros arbres sont respectés, les autres sont abattus sans être dessouchés... Les termites et autres insectes xylophages achèveront rapidement ce travail trop pénible pour l'homme. Les Caféiers y sont plantés au hasard, sans ordre défini, au gré de la place disponible laissée dans ces semi-clairières où le sous-bois est à peine nettoyé (fig. 9); on évite ainsi l'érosion des sols en saison de pluie. Une terre travaillée à l'européenne, propre, régulière, profondément ameublie, est vouée ici à une disparition rapide sous l'influence du lessivage intense des pluies chaudes équatoriales. Tous les éléments riches utilisables des couches superficielles sont entraînés dans les marigots.

Après quelques années de production, la « plantation » est abandonnée à la brousse qui la recouvre rapidement et un autre coin de forêt est défriché à son tour pour la création d'une culture nouvelle. Ce type de « jachère » équatoriale à lente révolution reste une pratique culturale rationnelle, établie sur une longue expérience du milieu. Pour l'avoir méconnue, beaucoup de plantations européennes, et non des moindres, ont été vouées à la catastrophe, car, en Afrique humide, un sol dénudé est un sol perdu, voué à la latéritisation. Cependant, sous ce climat, les cerises de Caféier se décortiquent mal, elles moisissent malgré un brassage continu sur les aires de séchage cimentées ou dallées (fig. 11). Les produits restent souvent de qualité inférieure.

Le Palmier à huile *(Eloeis guineensis)*, qui trouve sur les défriches de la forêt un sol et un climat de prédilection, reste la plus importante culture de la Guinée forestière, surtout sur toute la bordure de la frontière du Libéria, entre Macenta et Guéckédou.

Au moment de la « traite », il règne dans chaque village une grande activité; des « ramasseurs » pèsent les régimes sur des bascules faussées au milieu des cris et des palabres. D'interminables discussions aiguisées par l'alcool, qui coule à flot, préludent à la conclusion des marchés. La production ne profite guère à l'indigène car il transforme immédiatement son gain en alcool fort; il se livre alors à des beuveries familiales auxquelles prennent part femmes et enfants. Dans les boutiques de Syriens de Guéckédou, le débit du cognac et du rhum est impressionnant. Cette lamentable pratique, qui tend à se généraliser et contre laquelle aucune mesure efficace n'a été prise jusqu'ici par l'Administration française, a des conséquences funestes sur cette population forestière où l'alcoolisme accomplit des ravages désastreux.

D'autres cultures d' « exportation » existent en Guinée forestière, notamment celle du Colatier *(Cola nitida)* planté autour des villages, le long des pistes et des sentiers. La noix de Cola à goût amer, stimulante dans ses effets, vendue sur tous les marchés d'Afrique, pénètre jusqu'au Nil et au cœur du Sahara.

Les cultures vivrières sont représentées par le Manioc et le Taro ou « Macabot » *(Calocasia esculentus)* qui ont l'avantage de se bouturer sans effort pour donner rapidement des récoltes à gros rendement. Il convient d'y ajouter la Banane-plantain à fruits farineux et lourds qui pousse autour de toutes les agglomérations, si petites soient-elles (fig. 12).

Les Céréales font pratiquement défaut, le soleil leur manque et les pluies diluviennes gênent leur maturation. Riz de montagne, Maïs, Sorgo, Mil, sont inconnus en forêt.

L'absence de bétail tient aux mêmes causes, et aussi au manque de pâturages. La trypanosomiase transmise par les tsé-tsé ne saurait être incriminée à elle seule dans cette élimination puisque certaines races africaines, notamment les bœufs N'dama, résistent parfaitement à ces maladies (voir : *La Nature*, n° 3227, mars 1954, p. 87). La forêt ne sera donc jamais un pays d'élevage. Il reste aux habitants de petites chèvres guinéennes, basses sur pattes, très ventrues, quelques cochons noirs de très petite taille, et d'étiques poulets.



Fig. 13. — *Jeune fille toma avec sa marque frontale de tribu aux environs de Nzérékoré.*
(*Photos* A. S. Balachowsky).



Fig. 14. — *Sorcière guerzé du village de Boola (entre Nzérékoré et Beyla).*
La sorcière est recouverte de colliers et de couronnes d'ossements humains.

La colonisation blanche n'a pas pénétré dans cette région où seuls des comptoirs de « traite » importants ont été établis par les grandes sociétés coloniales qui drainent la majeure partie de la production indigène de café et d'huile de palme. Une piste de 300 km, bien entretenue, relie Nzérékoré à Monrovia, le grand port moderne du Libéria, débouché naturel de la Guinée forestière. Il a été aménagé à l'américaine pour écouler la production de caoutchouc des 40 000 ha d'hévéas de la plantation « Firestone ».

Cependant, une station de culture de Quinquina a été créée dans la montagne de Sérédou, à 1 300 m d'altitude, par les soins des services de l'Agriculture de l'A.O.F. Cette exploitation, qui couvre aujourd'hui plus de 100 ha, a été établie à très grands frais (un demi-milliard de francs d'investissements). Il a fallu préalablement construire 75 km de route de montagne à travers une jungle vierge et particulièrement impénétrable, très accidentée, dont le sol se dérobe en saison de pluie (fig. 2 et 3). Des logements, des laboratoires, ont été bâtis; des villages artificiels ont été créés de toutes pièces afin de retenir une main-d'œuvre qui fait totalement défaut sur place. Tous ces travaux ont nécessité l'apport par camions de matériaux de construction, d'outillage, de machines, etc., sur des « routes » qui ne sont en réalité que des fondrières, en partant de la tête de ligne de Kankan à 400 km plus au nord, reliée elle-même à la côte (Conakry) par plus de 600 km de voie ferrée! Sous le climat brumeux et chaud de la montagne de Sérédou, le Quinquina prospère aussi bien qu'en Malaisie, les rendements en écorce sont élevés et de qualité. La station de Sérédou a son équivalent à Dchang (1 300 m) au Cameroun, où l'on produit sur place du sulfate et du chlorhydrate de quinine. Un proche avenir nous dira dans quelle mesure ces exploitations, créées ou étendues au lendemain de la guerre, sont réellement rentables à un moment où, dans le monde entier, la quinine est remplacée dans toutes les applications par des composés synthétiques moins coûteux, mieux supportés et plus efficaces.

La Guinée forestière est habitée par de nombreuses tribus désignées sous le terme générique de « races forestières » dont les principales sont les Guerzé, les Toma, les Manon, et, dans la région nord-occidentale seulement, les Kissi. Il existe, en dehors de ces groupes ethniques principaux, des tribus secondaires mal définies.

Toutes ces populations sont fétichistes (à l'inverse de celles du Sahel et des savanes presque toutes islamisées) et répondent à un certain type ayant des caractères physiques communs. Ce sont en général des noirs à peau foncée ou très foncée, à stature moyenne (homme : 1,60 m environ), à prognathisme accusé, au nez large et épaté (platyrrhinie), aux lèvres épaisses et charnues, aux cheveux rares (même chez les femmes) et très crépus. Cependant, le corps est élancé bien que cambré, équilibré, les membres sont longs, fins, sans attaches grossières (fig. 13). Les femmes ne montrent jamais l'adiposité déformante des races forestières bantou de l'A.E.F. et du Bas-Cameroun.

L'origine de ces tribus forestières d'A.O.F. et du Libéria est fort mal connue. La plupart sont établies sur la lisière nord de la grande sylve sans y pénétrer en profondeur. Ce ne sont pas de véritables aborigènes mais plutôt des « refoulés » des savanes boisées, repoussés vers le sud, à une époque récente, par des peuples conquérants (peulh) et des chasseurs d'esclaves. Comme les « refoulés littoraux » des estuaires et de la Mangrove (voir : *La Nature*, n° 3215, mars 1953, p. 65) ils ont trouvé dans l'épaisseur de la jungle un refuge qu'ils ont utilisé au mieux.

La plupart des peuples guinéens de la forêt sont agriculteurs, mais leurs cultures sont presque exclusivement d'importation récente (américaine ou asiatique). Ils sont très familiarisés avec la production végétale et se livrent à la cueillette des fruits, des graines et des baies sauvages. Ils sont aussi chasseurs et trappeurs. Ils organisent de grandes battues avec leurs chiens aux pattes courtes qu'ils lâchent dans la forêt, munis d'énormes grelots; le gibier (petites antilopes, phacochères, etc.) est capturé dans d'immenses nasses ou filets de lianes, admirablement dissimulés. Ils vivent en sociétés animistes, tribus isolées mais homogènes, très attachées à leur milieu et sans rapport étroit les unes avec les autres. Les chefs de village conservent une grande autorité ainsi que les sorciers et « sor-



Fig. 15. — *Un chef de village guerzé du nord de Nzérékoré.*
On remarque les dents limées en pointe.
(*Photo* A. S. Balachowsky).



Fig. 16. — *Un chasseur de singes des environs de Lola.*
Les flèches sont empoisonnées.
(*Photo* A. S. Balachowsky).

cières » (fig. 14). Leur religion est complexe, beaucoup plus complexe qu'elle n'apparaît au premier examen; non dénuée de sens ni d'une certaine moralité, elle se traduit par des rites secrets, totalement fermés aux Européens.

L'anthropophagie n'a pas totalement disparu, tout au moins sous sa forme rituelle, malgré une surveillance sévère de la part des autorités françaises. Elle sévit davantage au Libéria, habité par les mêmes tribus, de l'autre côté d'une frontière qui n'a aucune valeur dans l'esprit des noirs. Les mangeurs de viande, Guerzé ou Toma, ont les incisives taillées en pointe (fig. 15) et, faute de chair humaine, ils dévorent des singes qui sont « rôtis » ou « fumés » sans être préalablement dépouillés. Ils les chassent avec leurs flèchés empoisonnées et le poison utilisé reste secret. Il ne s'agit sans doute pas d'un toxique végétal comme le *Strophantus*, mais de produits provenant de la décomposition des cervelles de certains animaux, singes et pangolins en particulier (fig. 16).

Les sorciers soignent les maladies et font des miracles ! A plusieurs reprises, des blancs isolés dans la forêt, piqués par des serpents venimeux, eurent recours à leur obscure pharmacopée; ils ont presque toujours été guéris.

Avec sa jungle épaisse et mystérieuse, ses montagnes découpées, la diversité de ses populations, la Guinée forestière reste pour le naturaliste et l'ethnographe une des régions les plus attrayantes de toute l'Afrique noire française.

A. S. Balachowsky,
Chef de service à l'Institut Pasteur.

LA NOUVELLE INDUSTRIE DE L'ÉPONGE DE FER

La presque totalité du fer produit dans le monde est obtenue au haut fourneau. Le minerai y est réduit par du coke. Le fer libéré fond. Sous la forme liquide, il absorbe de nombreuses impuretés : carbone, silicium, soufre, phosphore etc. On obtient finalement une fonte brute dont la teneur en éléments étrangers est fonction de la pureté du minerai et du combustible mis en œuvre.

Les hauts fourneaux actuels sont de dimensions imposantes. Ils exigent un coke métallurgique dense, capable de résister sans s'écraser au poids de la charge correspondant à la colonne des produits enfournés à leur sommet. Ce coke doit être calibré, peu cendreux et pauvre en soufre. D'autre part, les charbons capables de fournir du coke répondant à ces spécifications ne sont pas partout accessibles. Il faut alors transporter la houille, le coke ou le minerai sur d'assez grandes distances.

Les fontes obtenues au haut fourneau doivent être ensuite débarrassées de leurs impuretés. Elles sont transformées en acier par traitement, soit aux convertisseurs Bessemer ou Thomas, soit au four Martin.

Pour des raisons de simplification et d'économie on a donc songé à renoncer au haut fourneau et à réduire les minerais à l'état de fer en atmosphère gazeuse, à une température relativement basse, inférieure au point de fusion du métal. On évite ainsi qu'il ne fixe des impuretés étrangères. D'autre part, l'atmosphère réductrice gazeuse peut être obtenue par l'emploi de gaz naturels ou de combustibles de seconde qualité, ce qui évite l'assujettisseemnt au coke métallurgique et aux exigences de qualités de ses normes.

Le métal obtenu ainsi est plus pur que la fonte ; sa composition le rapproche de l'acier. Il se présente sous une forme divisée dénommée éponge de fer (sponge iron). Sa qualité dépend du degré de pureté du minerai traité. Le produit obtenu, purifié s'il y a lieu par séparation magnétique, est généralement aggloméré en briquettes. Il est utilisé dans les fours Martin, les fours électriques, les fours à induction et à haute fréquence, pour l'élaboration de qualités très variées d'aciers. On peut obtenir des éponges de fer de haute pureté, ne contenant pas plus de 0,015 pour 100 de soufre ou de phosphore.

Ces procédés ne sont encore qu'au stade de l'usine pilote. Des essais sont activement conduits aux Etats-Unis par des sociétés sidérurgiques et le Bureau of Mines. En Europe, la Suède qui dispose de minerais exceptionnellement purs livre déjà des tonnages importants de fer obtenu par réduction directe. La production suédoise, qui était en ces derniers temps de l'ordre de 35 000 t par an, va être développée. Les usines actuellement en construction porteront la capacité de production suédoise annuelle à environ 300 000 t d'éponge de fer. Simultanément on observe une réduction de la sidérurgie au charbon de bois ; depuis dix ans, elle a régressé de plus de 50 pour 100 en tonnage.

Les recherches se poursuivent dans d'autres pays, en particulier en Belgique. Des quantités réduites d'éponge de fer sont déjà livrées pour des usages spéciaux.

LA DIFFRACTION DES ÉLECTRONS

3. Applications physico-chimiques diverses

Dans les précédents articles (1), le professeur J.-J. Trillat a rappelé quelles étaient les bases théoriques et expérimentales de l'analyse électronique, puis il en a exposé les principales applications à la cristallographie et à la métallurgie. Il en envisage dans le présent article quelques autres applications physico-chimiques, choisies parmi les plus remarquables.

★

Étude du polissage et de l'état superficiel. — Quelle est l'influence du polissage d'un métal sur sa structure ? On peut répondre à cette question en envoyant un pinceau d'électrons à la surface d'échantillons métalliques plus ou moins polis, et en étudiant les phénomènes de diffraction qui dépendent essentiellement de la structure superficielle.

En opérant de cette façon, on montre qu'un métal décapé possède en général une structure superficielle polycristalline ; à mesure que le polissage augmente, les anneaux de diffraction deviennent graduellement diffus et sont remplacés finalement par deux larges anneaux ou halos indiquant la formation d'une couche amorphe,

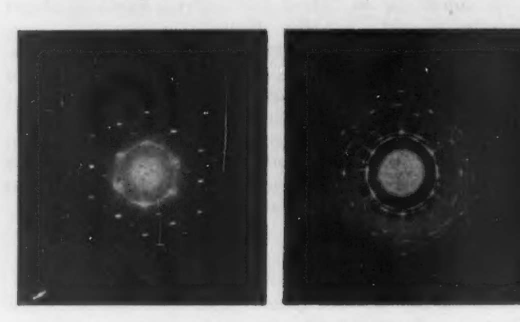


Fig. 1 (*à gauche*). — ***Paraffine (cristal unique).***
Fig. 2 (*à droite*). — ***Paraffine (nombreux petits cristaux mal orientés).***

dite « couche de Beilby ». La surface du métal n'est plus alors cristallisée, mais analogue à celle d'un liquide monoatomique ; de plus, cette couche superficielle possède des propriétés remarquables comme celle de dissoudre les films cristallins métalliques qui y sont déposés (G. I. Finch).

Une application pratique intéressante a été tirée de ces recherches. Le Ministère de l'Air britannique a fait examiner les surfaces internes de chemises pour cylindres de moteurs d'avions : certaines de ces chemises étaient neuves et prêtes à être mises en service, les autres avaient déjà des temps de service de 40 à 140 heures. Après élimination de la couche d'huile protectrice, les surfaces des chemises neuves fournirent toutes des diagrammes correspondant à une structure cristalline de fer α ; mais les surfaces des chemises usagées donnèrent après dégraissage le diagramme caractéristique de la couche amorphe de Beilby dont l'épaisseur était telle qu'il fallut plusieurs abrasions successives au papier émeri fin pour retrouver la structure normale du métal sous-jacent. Il apparaît donc ainsi que la mise en service d'un moteur à explosion provoque la formation, à l'intérieur du cylindre, d'une couche amorphe analogue à une surface liquide et dont la profondeur peut être considérable.

C'est grâce en partie aux études et au contrôle par diffraction électronique qu'a pu être mise au point en Amérique, durant la guerre, le procédé dit de « superfini » des surfaces, grâce auquel on obtient la suppression de la période de rodage dans les moteurs et une lubrification bien meilleure par adsorption d'un film d'huile.

Étude des corps gras et applications à la lubrification. — L'analyse électronique permet, comme nous l'avons dit au début, d'avoir accès aux couches superficielles les plus minces, même si celles-ci ne comportent qu'une ou quelques assises moléculaires ; elle est donc tout indiquée pour l'étude des phénomènes d'adsorption des molécules organiques, adsorption qui s'accompagne le plus souvent d'une orientation caractéristique conférant à la couche ainsi formée des propriétés particulières.

L'un des cas les plus intéressants est celui des corps organiques à longues chaînes tels que les hydrocarbures, alcools, acides gras, graisses, cires, etc. Les recherches aux rayons X (Trillat) avaient déjà permis de déterminer la longueur et la forme de ces diverses molécules et la structure cristalline de leurs cristaux, et de montrer qu'elles se fixent sur les surfaces métalliques ou autres d'autant mieux qu'elles possèdent un moment électrique permanent plus élevé (cas des acides gras, des alcools) ; cette adsorption est accompagnée d'une orientation normale en général à la surface du support, et cette orientation se répercute de proche en proche jusqu'à des distances parfois assez considérables de la surface. Chaque couche mono ou bimoléculaire forme ainsi un feuillet, et ces divers feuillets, empilés les uns sur les autres à la façon de cartes à jouer, jouent un rôle essentiel dans la lubrification.

On voit par ce rapide résumé l'intérêt à la fois théorique et pratique qu'il y a à approfondir ces phénomènes.

La diffraction des électrons, grâce à ses propriétés particulières, a précisément permis non seulement de confirmer et de préciser les résultats obtenus par rayons X, mais encore d'aller beaucoup plus loin. Je laisse de côté les vérifications relatives aux structures cristallines de ces corps ; elles sont relativement aisées, car il est facile d'obtenir des films très minces de ces substances et d'opérer par transmission, ce qui est préférable pour l'analyse cristalline.

Considérons maintenant une surface métallique rigoureusement propre ; examinée aux électrons, sous incidence rasante, une telle surface fournit seulement le

1. La diffraction des électrons et ses applications : 1. Bases théoriques et expérimentales, *La Nature*, n° 3227, mars 1954, p. 89 ; 2. Applications cristallographiques, *La Nature*, n° 3228, avril 1954, p. 134.

diagramme de l'état superficiel du métal dont nous avons déjà parlé. Touchons-la légèrement avec le doigt, ou mieux déposons en l'un de ses points une trace infinitésimale d'un corps gras (huile, acide gras, carbure, etc.) ; on constate qu'au bout d'un temps variable, qui peut être de quelques jours, la surface métallique entière est envahie par le corps gras. Ainsi donc, le corps gras « marche » littéralement sur le métal et le contamine peu à peu ; et, ce faisant, il s'enracine profondément en orientant ses molécules perpendiculairement à la surface du métal qui se trouve ainsi recouvert d'une véritable forêt de molécules organiques, dressées parallèlement les unes aux autres et qui lui donnent un peu l'aspect d'un tapis brosse. L'analyse électronique permet de suivre dans tous ses détails ce phénomène qui se localise dans des couches d'une extrême ténuité, puisque leur épaisseur ne dépasse pas quelques centaines d'angströms (quelques cent-millièmes de millimètre) ; il est même possible de tirer de là la distance entre les atomes de carbone qui constituent le lubrifiant, résultat que ne permettent pas les rayons X qui donnent seulement la longueur totale de la molécule.

Les figures 1 et 2 sont relatives à une surface ainsi contaminée par un corps gras et observée par transmission ; outre le diagramme du métal servant de support (peu visibles sur les clichés), on aperçoit des taches très fines dues précisément à la diffraction provoquée par cette couche de graisse invisible et que l'on peut considérer comme cristallisée suivant deux dimensions.

Il résulte de là qu'il est presque impossible de savoir vraiment ce qu'est une surface métallique, puisque, malgré tous les soins, cette surface se souille spontanément par le moindre contact accidentel en un seul de ces points. De plus, on a là un moyen nouveau et très précieux d'étudier la propagation et l'adhésion d'huiles de graissage sur des métaux ; en effet, l'extension et l'orientation ne se font pas de la même façon ni à la même vitesse, suivant la nature du lubrifiant et suivant celle du métal.



Fig. 3. — *Diagramme électronique d'une huile de graissage sur métal (méthode par réflexion).*

Les diagrammes électroniques obtenus à partir d'une huile de graissage sur une surface métallique permettent de définir la valeur de cette huile au point de vue de sa faculté d'adsorption sur le métal, renseignement très important grâce auquel on peut classer les lubrifiants suivant leur valeur ; cette méthode est utilisée pour le contrôle. La figure 3 représente un diagramme d'huile technique obtenu sous incidence rasante ; l'étude de ces diagrammes, comparativement aux propriétés des lubrifiants, a permis de montrer que des mélanges d'hydrocarbures sont préférables à des hydrocarbures purs, et qu'une huile de graissage est d'autant meilleure que la longueur moyenne de ses molécules est plus grande.

Dans le même ordre d'idées, la diffraction des électrons permet de suivre le mécanisme de l'action des « dopes » incorporés aux huiles pour accroître leur onctuosité, ainsi que du graphite colloïdal que l'on mélange souvent pour améliorer le coefficient de frottement et diminuer l'usure.

Enfin, le frottement prolongé fait ressortir à l'état de graphite le carbone contenu dans le fer ; si l'on prend une surface polie d'acier moulé de la qualité employée pour les cylindres de moteurs à combustion interne, et si on la frotte légèrement avec du papier émeri extrêmement fin (oooo), on obtient, par examen aux électrons sous incidence rasante, un diagramme de graphite, sans la moindre trace de diagramme de fer.

L'acier doux, ou contraire, traité de la même façon, fournit le diagramme ordinaire du fer α ; donc, dans le cas de l'acier moulé, le frottement fait remonter le graphite occlus et l'étale sur la surface, où il agit comme une couche lubrifiante protégeant le fer de l'abrasion. La fonte agit de même et cela explique les propriétés plus « onctueuses » de ce métal ; il est ainsi possible de prévoir qu'un jour l'on arrivera à préparer des métaux dont la surface sera en quelque sorte autolubrifiante, tout en conservant une dureté suffisante.

Nous n'avons indiqué ici que les applications de l'analyse électronique à une catégorie spéciale de corps organiques, les corps gras ; mais la même technique s'applique à un grand nombre d'autres composés organiques, non seulement à l'état pur, mais aussi à l'état de films provenant de l'évaporation de solvants. Dans ce domaine, le champ est à peine défriché et l'on ne peut encore préjuger des conséquences à attendre de ces recherches, notamment dans le cas de la polymérisation des hauts polymères organiques.

Applications à la photographie. — Par sa puissance d'investigation, l'analyse électronique permet aussi l'examen de certains phénomènes physico-chimiques, principalement lorsqu'il s'agit de suivre des transformations rapides et superficielles qui échappent aux rayons X. Nous en donnerons deux exemples relatifs à la photographie que nous avons étudiés dans notre laboratoire.

Si l'on prépare un film très mince d'une émulsion photographique au bromure d'argent et qu'on le fasse traverser par un jet d'électrons monocinétiques, il se produit deux choses : tout d'abord, les électrons, doués d'une action photographique intense, agissent sur l'émulsion en réduisant le bromure d'argent en argent : là, c'est leur aspect corpusculaire qui intervient. Ensuite, les électrons, pilotés par leurs ondes associées, se diffractent au sein du film sensible sur le bromure d'argent ou sur l'argent auquel leur propre passage a donné naissance ; ici, c'est l'aspect ondulatoire qui prévaut. Les faisceaux électroniques diffractés viennent ensuite illuminer l'écran fluorescent ou impressionner les papiers photographiques ; il est donc ainsi possible d'étudier directement en chaque point d'une préparation sensible, et d'une façon en quelque sorte cinématographique, l'action photographique des électrons.

Le phénomène est très brillant, et l'on assiste sur l'écran à la transformation plus ou moins rapide du bromure d'argent en argent métallique (fig. 4), d'où l'on peut déduire les règles de sensibilité maximum. En particulier, on constate que la libération d'argent est d'autant plus rapide que le microcristal de bromure d'argent est moins bien cristallisé. Plus le cristal est déformé et imparfait, par suite par exemple de tensions internes, et mieux il se réduit en argent ; il y a donc intérêt dans l'émulsion à ce que les halogénures soient aussi mal cristallisés que possible. Ce résultat a des conséquences pratiques importantes pour la fabrication, sur lesquelles je ne peux insister ici ; mais je dirai seulement que, là aussi,



Fig. 4. — *Transformation du bromure d'argent en argent sous l'action des électrons.*

Les trois diagrammes ont été juxtaposés : A, bromure d'argent inaltéré ; B, bromure d'argent + argent produit par l'action des électrons ; C, argent.

comme pour l'adsorption et la catalyse, c'est encore la *structure imparfaite* du cristal qui est la cause d'un maximum d'activité. Ceci paraît être une loi générale et dont l'importance pratique peut être grande pour nombre d'industries.

Le second exemple a trait à l'étude des cyanines, colorants sensibilisateurs de l'émulsion pour les rayons infrarouges. Des travaux effectués en Amérique laissaient supposer que ces colorants sont adsorbés par les cristaux de bromure d'argent et qu'ils s'orientent en feuillets mono ou bimoléculaires. L'analyse électronique nous a permis de confirmer d'une façon certaine cette hypothèse, et de mesurer la dimension de la molécule de cyanine : d'où encore une application, peut-être plus théorique que la précédente, pour l'étude du mécanisme de la sensibilisation de l'émulsion photographique.

Étude de la structure interne des molécules libres (gaz). — De très intéressantes recherches portant sur l'arrangement des atomes à l'intérieur d'une molécule, ainsi que sur certains problèmes importants de la Chimie organique (isomérie, rotation libre, nature des liaisons, etc.) ont été effectuées durant ces dernières années. Il s'agit là d'une branche spéciale de l'analyse électronique qui fait appel à la diffraction des électrons par les gaz ou vapeurs.

Si l'on envoie un faisceau d'électrons monocinétiques à travers un mince jet d'un gaz ou d'une vapeur, on constate que les électrons sont diffractés par les atomes qui constituent les molécules étudiées. Il s'agit donc là d'une diffraction intramoléculaire, chaque molécule agissant pour son propre compte, et sans qu'il y ait une répartition ordonnée des molécules les unes par rapport aux autres comme cela a lieu dans les réseaux cristallins. Pour les diagrammes de rayons X, ce sont les électrons des atomes qui interviennent dans la diffusion ; pour les diagrammes électroniques au contraire, l'influence du noyau l'emporte de beaucoup. Ce fait explique qu'il soit possible d'observer les phénomènes d'interférences électroniques intramoléculaires, alors que les rayons X ne donnent avec les gaz ou vapeurs que des diagrammes présentant un noircissement général sans maximum apparent. Ces considérations, basées sur des théories dues en particulier à Debye, ont donné l'idée d'essayer de diffracter les faisceaux d'électrons par les molécules isolées d'un gaz, et de déduire des diagrammes obtenus des conclusions sur l'arrangement des atomes dans la molécule étudiée.

Du point de vue expérimental, on utilise le dispositif suivant (fig. 5) : le faisceau électronique traverse un mince jet de gaz ou de vapeur issu d'un orifice de 0,1 mm, jet qui est ensuite immédiatement condensé sur

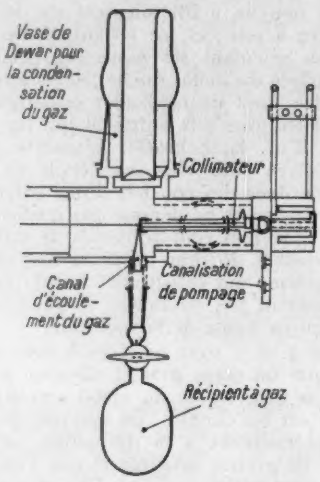


Fig. 5. — *Schéma d'un dispositif pour la diffraction des électrons par les gaz ou vapeurs.*

le fond d'un récipient refroidi à l'air liquide pour éviter une augmentation de pression dans l'appareil. Malgré cette précaution, il faut opérer très rapidement et enregistrer le diagramme en une fraction de seconde ; le phénomène est cependant visible sur l'écran.

La figure 6 montre ce que l'on obtient ainsi ; le diagramme consiste en un ou plusieurs anneaux assez diffus, d'où l'on peut tirer par le calcul la valeur des distances intra-atomiques. Par exemple, on mesure ainsi directement les distances C-Cl = 1,82 Å et Cl-Cl = 2,96 Å dans le CCl_4 ; la structure tétraédrique de cette molécule se trouve ainsi entièrement confirmée et il est aussi possible de déterminer le rayon atomique de l'atome de carbone situé au centre du tétraèdre.

De nombreux travaux se sont appuyés sur cette technique pour mesurer les distances atomiques et déterminer la structure dans l'espace de beaucoup de molécules. Parmi les résultats les plus intéressants, mentionnons l'évaluation de la distance entre atomes de carbone dans les liaisons aromatiques et aliphatiques, ainsi que la détermination des angles que font entre elles ces liaisons. Ainsi, pour la liaison C-C aromatique (benzène), on trouve C-C = 1,4 Å ; les atomes de C sont répartis suivant un hexagone plan régulier, ce qui confirme la formule développée bien connue. Pour la liaison aliphatique, on trouve C-C = 1,54 Å identique aux distances des atomes de C dans le diamant ; mais certaines formules doivent être considérées comme planes (cyclopentane), d'autres comme gauches (cyclohexane). Ces recherches montrent en outre que les longueurs caractéristiques des liaisons aliphatiques et aromatiques, déterminées indirectement dans la maille cristalline par les rayons X, subsistent encore dans la molécule libre, et qu'elles diffèrent dans les deux séries.

Enfin, la diffraction d'électrons par les molécules isolées peut apporter encore certains renseignements sur

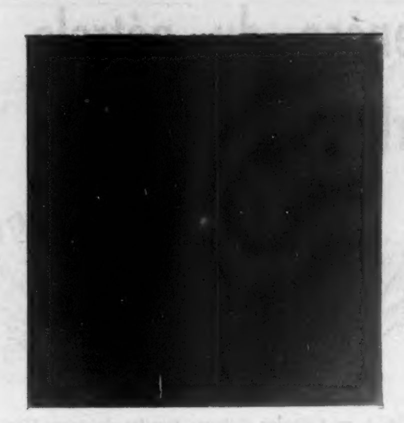


Fig. 6. — *Diagramme de gaz* (*CCl_4*).
(*Cliché* ROUAULT).

des problèmes de stéréochimie. L'isomérie *cis* et *trans* dans le cas de la double liaison peut se reconnaître au fait qu'on doit obtenir des distances différentes entre atomes ; c'est par exemple ce qui a lieu pour le dichloréthylène. Le problème de la rotation libre ou gênée peut être également abordé avec succès par cette méthode.

D'autre part, des mesures sur les benzènes disubstitués ortho-méta-para ouvrent la possibilité d'étudier les petites déformations que le noyau benzénique subit par l'apport d'atomes plus lourds, déformations qui sont également indiquées par quelques anomalies du moment du dipôle. On peut espérer étudier également le mécanisme d'une réaction gazeuse homogène, en dirigeant par exemple le faisceau électronique au point de rencontre de deux jets de vapeur différents, et déduire du diagramme de diffraction l'existence et la structure du produit de la réaction.

Conclusion. — Nous arrêterons là ces quelques exemples, volontairement limités à un choix forcément un peu arbitraire. Bien d'autres applications sont encore à envisager, dont nous n'avons pu parler ici ; j'aurais dû par exemple également indiquer une technique un peu différente qui utilise, au lieu d'électrons rapides de 3o à 6o ooo V, des électrons lents, accélérés seulement par quelques centaines de volts, et qui, étant bien moins pénétrants que les précédents, peuvent être utilisés avec succès dans l'étude de l'adsorption et des états de surface.

Mon but a été surtout de montrer ce que l'on pouvait attendre d'une découverte française d'abord purement théorique, puis entrée progressivement dans la pratique ; cette découverte — la Mécanique ondulatoire — a conduit à de nouveaux moyens d'investigation de la matière, comme l'analyse électronique et la microscopie électronique, dont il est bon de connaître les possibilités lorsque se posent certains problèmes tant scientifiques que techniques.

J.-J. TRILLAT,
Professeur à la Sorbonne, Directeur
du Laboratoire de Rayons X du C. N. R. S.

Un nouvel alliage pour revêtements : l'étain-nickel

L'étain et le nickel résistent bien à la corrosion mais ils se ternissent à l'air et perdent le lustre qu'ils avaient acquis par le polissage. D'après une récente publication du Centre d'information de l'Étain, cet inconvénient serait évité par un alliage contenant environ 65 pour 100 d'étain et 35 pour 100 de nickel, soit approximativement des nombres égaux d'atomes de ces deux métaux. L'étain et le nickel peuvent être déposés simultanément par électrolyse dans un bain contenant du chlorure stanneux, du chlorure de nickel, du fluorure de sodium et du fluorure acide d'ammonium. Le procédé demande des précautions particulières car, à la température de travail qui est de 65°, il se dégage des vapeurs toxiques d'acide fluorhydrique.

Effectué sur un métal poli, le dépôt d'étain-nickel a un lustre très brillant et ne demande généralement aucun avivage ; il résiste au ternissement aussi bien que le chrome. Alors que le chrome a des reflets bleus et le nickel des reflets jaunâtres, l'étain-nickel a des reflets roses. Comme revêtement, il serait plus dur et plus résistant que ceux d'étain ou de nickel et il serait moins attaqué encore par la plupart des agents de corrosion. Dans beaucoup de cas, il serait préférable au nickel-chrome.

Parmi les utilisations envisagées à la suite des essais figurent la décoration des véhicules automobiles, les couverts et les services de table, les accessoires décoratifs des foyers et cuisinières, les appliques et, en général, toute la décoration métallique des bâtiments, des magasins, les appareils électriques, la bijouterie, etc.

A propos du remembrement rural

La surpopulation est la règle dans les îles côtières de la Manche et de l'Atlantique, à Bréhat, à Groix, à Ré. Souvent la densité dépasse 100 habitants par kilomètre carré, et parfois 300 (Groix a 4 700 habitants pour 1 476 ha de superficie totale). Comme à Sein, il est possible encore de voir les femmes travailler seules la terre, pendant que les hommes sont occupés à la pêche en mer. Le morcellement des parcelles atteint des proportions extraordinaires et le remenbrement, déjà réalisé par endroits, est une nécessité impérieuse : Bréhat compte 8 000 parcelles sur 390 ha de surface totale, Groix 42 000 sur 1 476 ha ; ici, la plus vaste couvrait une vingtaine d'ares, la plupart n'avaient que quelques mètres de large sur une quinzaine de long, « moins que les jardinets d'une banlieue déjà congestionnée » (Dumont). Il semble que Bréhat et Groix soient deux exemples-records ; leurs chiffres sont utiles à garder pour toute étude future.

L'aérogare de la Sabena à Bruxelles

La *Revue générale de l'Air* a publié quelques précisions concernant la nouvelle relation rapide entre le bâtiment de la Sabena, récemmment construit au cœur de Bruxelles, et l'aéroport de Melsbroek, au nord-est de la capitale. Jusqu'à présent, il fallait compter par autocar une demi-heure par une route encombrée, traversant Evere et Dieghem. Dorénavant, il suffira de 10 minutes, effectuées en autorail depuis la nouvelle gare centrale de Bruxelles (à mi-chemin entre les gares du Nord et du Midi), elle-même située en face de l'immeuble de la Sabena. Un quai souterrain a été aménagé dans l'aérogare; il est accessible par ascenseur et desservi par des tapis roulants. On prévoit quatre autorails toutes les heures ; la visite de la douane pourra s'effectuer en partie pendant le trajet ferroviaire. En prévision de l'essor futur des liaisons par hélicoptère, le toit de l'aérogare est aménagé en terrasse.

Les bactéries dans la genèse du pétrole et des autres hydrocarbures naturels

L'intérêt que présente pour la science, pour l'industrie et pour la santé humaine la connaissance des microbes anaérobies est immense. Agents de multiples fermentations mises à profit par l'homme depuis des millénaires mais dont le meilleur rendement est lié à leur étude approfondie, responsables de maladies redoutables mais souvent encore méconnues, ils participent aussi à des processus naturels de grande ampleur tels que l'évolution des sols et la formation des hydrocarbures. C'est à cette dernière question que le professeur A. R. Prévot, chef du Service des Anaérobies à l'Institut Pasteur, a consacré l'article qu'on va lire. Le rôle des anaérobies a été montré d'abord par des savants français, leurs moyens de culture et d'étude ont été grandement perfectionnés en France, notamment par M. Prévot. En cette matière comme en tant d'autres, il est à regretter que des moyens plus puissants ne soient pas mis au service de nos laboratoires pour continuer ces belles recherches dans toutes les directions où s'offrent des résultats prometteurs.

★

Tout le monde reconnaît aujourd'hui que les hydrocarbures naturels proviennent du métabolisme des résidus organiques végétaux et animaux par les microorganismes. Mais il n'en fut pas toujours ainsi et c'est incontestablement à l'école française de Paléobotanique que revient le grand mérite d'avoir la première démontré l'origine biologique de ces précieuses matières. C'est en effet en 1892 que Ch.-E. Bertrand et B. Renault ont reconnu par la méthode des coupes minces que les bogheads étaient formés d'algues oléogènes transformées. Ils ont appelé *Pila bibractensis* (d'un nom ancien de la région) l'algue constitutive du boghead d'Autun (fig. 1 et 2) et *Reinschia australis* celle des bogheads d'Australie (fig. 3 et 4).

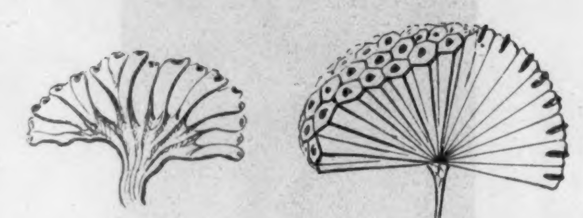


Fig. 1. — *Colonies d'algues fossiles du genre* Pila.

La gélose qui constitue les parois des algues aquatiques inférieures forme ici des boules à structure rayonnée portant des cellules enchâssées à la périphérie. *A gauche*, section radiale. *A droite*, schéma de l'organisation de la colonie

(D'après Paul Bertrand, *Les Charbons d'Algues*, Liège, 1930).

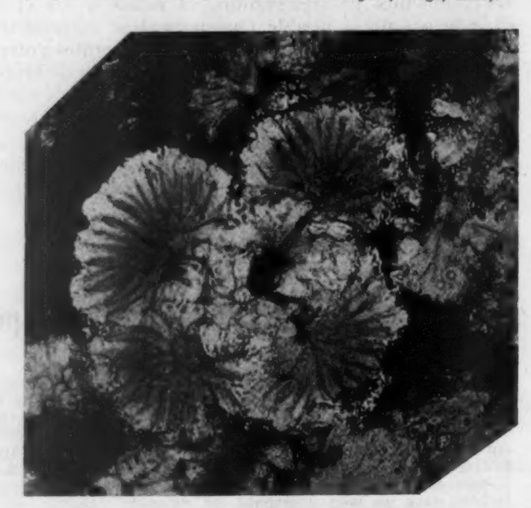
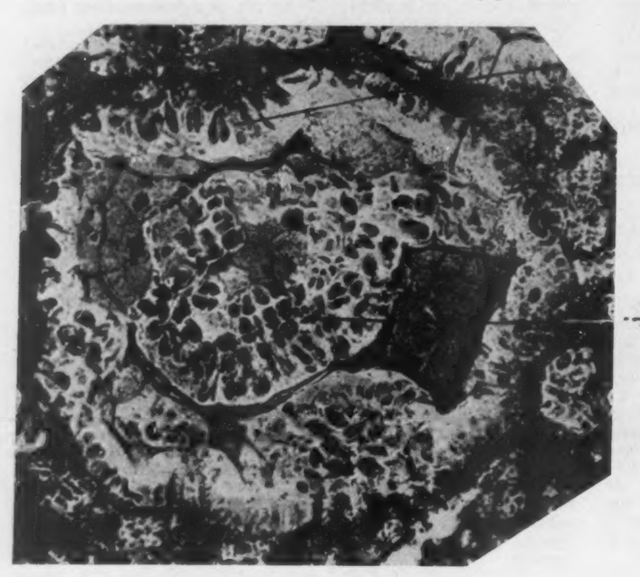


Fig. 2 *(ci-dessus)*. — *Coupe dans le boghead d'Autun.*

On voit quatre colonies de *Pila* ayant proliféré en éventail aux dépens d'une vieille colonie centrale. Grossissement : × 220.

(D'après P. Bertrand, *op. cit.*).



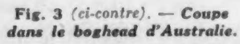


Fig. 3 *(ci-contre)*. — *Coupe dans le boghead d'Australie.*

A gauche, une colonie adulte de *Reinschia* telle qu'on la voit dans le boghead (grossissement : × 300) ; sur le pourtour, des cellules vues en coupe radiale sont en voie de division ; au centre, on en voit de face groupées par quatre sur les petits carrés. Les parties les plus claires sont formées de gélose. *A droite*, dessin schématique des cellules en cours de division, vues en coupe radiale en haut, et en coupe transversale en bas.

(D'après P. Bertrand).

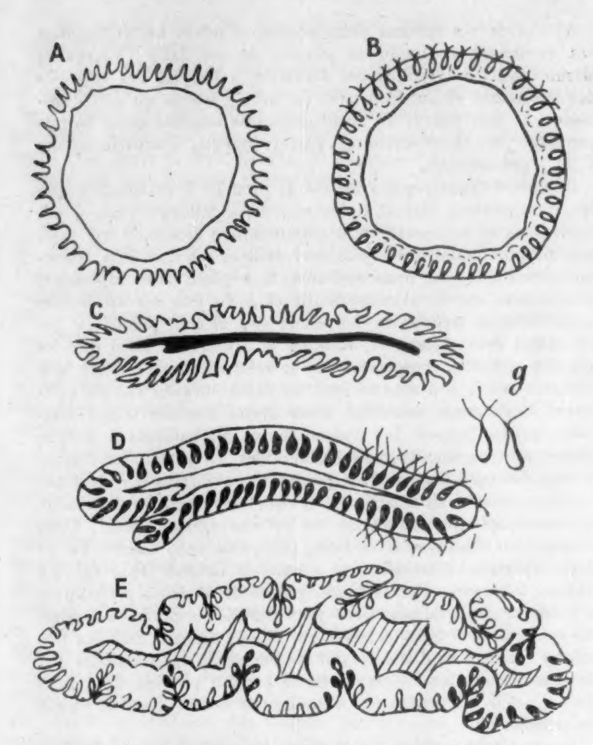


Fig. 4. — *Colonies d'algues fossiles du genre* Reinschia *dans le boghead d'Australie.*

A, jeune colonie ; B, jeune colonie restaurée, avec cellules pourvues de deux cils moteurs ; C, jeune colonie en section verticale ; D, colonie adulte commençant à se plisser (en *g*, deux cellules restaurées avec leurs cils moteurs) ; E, vieille colonie à parois mamelonnées et invaginées, vue en section verticale. Grossissement : × 100 à 200 environ.

(D'après P. Bertrand, *op. cit.*).

Peu de temps après cette mémorable découverte, trop méconnue par les savants étrangers, B. Renault a montré, par la même méthode des coupes minces, le rôle des bactéries dans cette transformation. Ses résultats ont été publiés dans un mémoire célèbre, aujourd'hui presque oublié, *Du rôle de quelques bactéries fossiles au point de vue géologique* (8e Congrès géologique international, 1900). Il a nommé *Micrococcus petrolei* le coccus mis en évidence dans les coupes des bogheads d'Autun et il supposait une transformation suivant l'équation :

$$\underset{\text{Cellulose}}{C_{12}H_{20}O_{10}} = \underset{\text{Boghead}}{2(C_2H_2)} + \underset{\text{Gaz carbonique}}{5CO_2} + \underset{\text{Méthane}}{3CH_4} + 2H.$$

Ces vues remarquablement prophétiques ont ouvert la voie aux recherches bactériologiques qui depuis 1900 ont multiplié nos connaissances sur le rôle primordial des Bactéries dans la formation des pétroles. Il était bon de rappeler l'œuvre de ces deux pionniers français.

Par la suite Zalessky a rapproché les *Pila* des *Botryococcus* actuels, en particulier de *B. brauni* (fig. 5), et les *Reinschia* des *Volvocaceæ*, et Paul Bertrand, ayant pu étudier les préparations originales de son père, a pu confirmer cette identification. Connaissant le comportement des *Botryococcus* et des *Volvocaceæ* actuels, il a pu établir la chronologie de la formation des bogheads : dans un premier temps les *Botryococcus* oléogènes forment à la surface de certains lacs d'épaisses couches de « fleurs d'eau » qui chaque hiver tombent au fond où elles forment d'importants dépôts huileux de 5 à 10 m d'épaisseur : les *sapropèles*, où commence la première phase de l'attaque microbienne, la lipidolyse réductrice, se traduisant macroscopiquement par un abaissement massif du rH.

Les sapropèles actuellement les mieux connus sont ceux du lac Ala-Kool (*B. brauni* var. *balkachiensis*), du lac Beloë (*Chroococcus*) et de l'Ahlbeckersee (*Microcystis*). Dans un deuxième temps, les sapropèles deviennent noirs et compacts et se transforment en *saprocolles*, véritables probitumes dont la distillation donne une importante fraction d'hydrocarbures. C'est l'évolution ultérieure des saprocolles après recouvrement de ceux-ci par les sédiments et leur métabolisme du fait des bactéries anaérobies qui a donné les produits que nous trouvons aujourd'hui : bitumes, asphaltes, bogheads, coorongite, torbanite, n'hangellite [1], etc.

C'est également l'école française de bactériologie qui a, la première, démontré la formation microbienne du méthane naturel. En effet, c'est en 1902-1903 que Mazé, à l'Institut Pasteur, a prouvé l'origine bactérienne du gaz des marais en reproduisant expérimentalement cette fermentation grâce à une sarcine anaérobie, qu'il a malheureusement insuffisamment décrite et qu'il n'a pas nommée, de sorte que cette bactérie, appelée *Sarcina mazei* par quelques auteurs, n'a pu être comparée aux autres sarcines méthanogènes.

Bien plus tard (1906), Sohngen a décrit *Sarcina methanica*, également à l'origine de la fermentation méthanique naturelle et il a émis sur le mécanisme de celle-ci une hypothèse qui n'a pu être prouvée que tout récemment. C'est beaucoup plus tard encore que Clausen (1931) a discerné dans les travaux anciens et confus d'Omeliansky la part de la cellulolyse bactérienne de

1. La *coorongite* est un bitume noir, élastique, qui se forme sur les rivages de la lagune de Coorong en Australie ; Thiessen en a nommé l'algue constitutive *Elæophyton coorangium* ; distillée, elle donne 70 pour 100 de pétrole, des goudrons, des gaz et très peu de résidu sec. La *torbanite* est le boghead d'Écosse, formé de *Botryococcus minor*. La *n'hangellite* est le bitume du lac N'Hangell en Afrique portugaise.

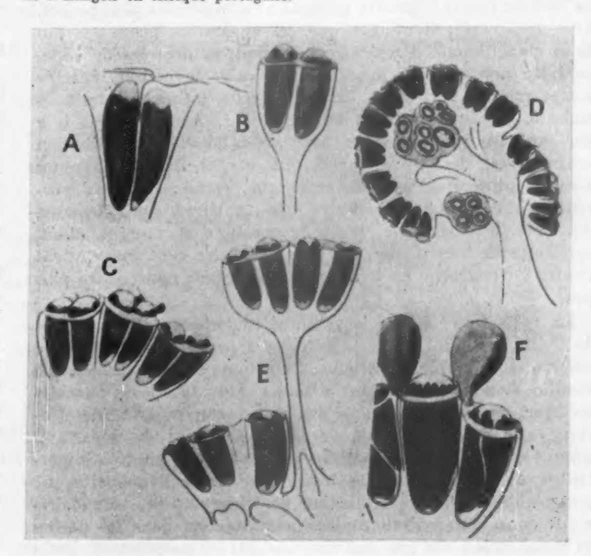


Fig. 5. — *Structure de l'algue actuelle* Botryococcus Brauni.

A, B, C, cellule se divisant en deux puis en quatre cellules-filles, qui restent enveloppées de gélose ; D, colonie en forme de bouquet ou de calotte sphérique avec cellules enchâssées à la périphérie ; E, cellule issue du pourtour d'une vieille colonie et qui, en se divisant, devient l'origine d'une nouvelle colonie en bouquet ; F, cellules laissant échapper des gouttelettes d'huile. On notera la grande ressemblance de ces colonies d'algues actuelles avec celles des *Pila* fossiles.

(D'après R. Chodat).

celle de la fermentation méthanique proprement dite des produits de métabolisme de la cellulose. L'école américaine moderne a poussé très loin l'étude bactériologique de la formation des pétroles. C'est tout d'abord Gahl et Anderson en 1928 qui reconnaissent la pullulation des Sporovibrions sulfato-réducteurs (fig. 6) dans les puits de pétrole de Californie. En 1929



Fig. 6. — *Un sporovibrion sulfato-réducteur* : Sp. desulfuricans.
Grossissement : × 1 000 (*Microphoto* J. Pochon).

Standnikow, ayant fait agir des anaérobies lipolytiques sur des algues et d'autres protistes riches en graisses, constata la formation de composés insaponifiables et parmi eux des hydrocarbures du type des pétroles. Il est suivi dans cette voie par Tausson et Alioshina (1932), Porfiriev (1937), Strum et Orlowa (1937).

Mais c'est Zobell et ses collaborateurs qui ont apporté la plus grande contribution au problème. En 1938 Zobell constate la grande fréquence des Sporovibrions sulfato-réducteurs dans les sédiments marins et y décrit deux espèces nouvelles qui clivent les hydrocarbures à grosses molécules en molécules plus petites. Avec Jankowski, il montre que ces anaérobies placés en eau de mer additionnée d'acides gras peuvent, en présence de sable, produire une quantité appréciable d'huile de pétrole. L'acide *n*-caprique en particulier, traité de cette façon, donne naissance à des hydrocarbures de C_{10} à C_{25}. Avec Upham, il a pu synthétiser la cérésine par voie bactérienne. L'action contraire est démontrée par Novelli et Zobell : en l'absence d'autres sources de carbone organique, certaines espèces peuvent assimiler les hydrocarbures (décane, tétradécane, éicosane, docosane, hentriacosane, huile de paraffine et vaseline) dont, après attaque bactérienne, une partie sert aux synthèses et dont l'autre est convertie en hydrocarbures à poids moléculaire plus petit.

En 1945 Zobell réalise la synthèse bactérienne des paraffines de $C_{20}H_{42}$ à $C_{25}H_{52}$ et de la cérésine à partir d'acide caprique comme seule source de carbone. La gamme de ces synthèses est ensuite étendue en partant d'acides gras inférieurs : acides acétique, propionique, butyrique, caproïque; puis l'acide stéarique est reconnu capable de servir de point de départ. Il prouve ensuite que les bactéries peuvent jouer un rôle important dans la libération des huiles de leur roche-magasin par attaque des carbonates et action de surface, puis, secondairement dans leur migration, leur accumulation dans les poches et la formation des gaz sous pression qui les surmontent. Enfin il démontre que l'évolution des pétroles par modification de leur structure et abaissement du poids moléculaire de leurs constituants est aussi d'origine microbienne.

De 1946 à 1948 il établit la possibilité d'une conjonction entre les actions enzymatiques bactériennes (hydrogènelyase et hydrogénase) et la radioactivité (rayonnement α) dans la formation des pétroles.

Autour de ces travaux primordiaux, d'autres bactériologistes ont confirmé et étendu la plupart de ces faits : Clarke et Mazan (1941) ont soumis des diatomées à l'action des bactéries des sédiments et ont constaté, en même temps qu'une diminution de leur teneur en acide gras, une augmentation correspondante des hydrocarbures parmi lesquels l'hentriacontane $C_{31}H_{64}$ prédominait.

Rosenfeld (1945), qui avait été le premier à reconnaître que les Sporovibrions étaient lipidolytiques, a fait agir ceux-ci sur des algues et a constaté une augmentation (lente, il est vrai) des insaponifiables éthérosolubles; celle-ci est due à la réduction des lipides en hydrocarbures. Il a porté cette expérience quantitative sur le plan qualitatif et a vu que ces anaérobies peuvent aussi hydrolyser les esters des alcools primaires, les glycérides des acides gras, solubles et insolubles, ainsi que les graisses et huiles complexes; par la méthode des bactéries non proliférantes il a démontré que les réducteurs de sulfate catalysent l'oxydation anaérobie d'un grand nombre d'hydrocarbures parmi lesquels les hydrocarbures aliphatiques à longue chaîne sont particulièrement vulnérables, en particulier l'hexadécane. En 1948 il a reconnu que les Sporovibrions n'étaient pas les seuls à agir ainsi : à côté d'eux les anaérobies facultatifs lipidolytiques non réducteurs de sulfates agissent aussi. Cette notion était d'ailleurs dans l'air, puisqu'en 1940 Czurda l'avait déjà exprimée. C'est elle qui a conduit Laigret (1945-1947) à utiliser le pouvoir lipidolytique intense de *Welchia perfringens* à l'attaque des graisses. Dans une première expérience il avait vu que cet anaérobie, catalysé par l'iode, transformait les formiates alcalins en CH_4. Quand on remplace ces formiates par des savons alcalins (oléate) il ne se produit plus de CH_4, mais du CO_2 et il y a production d'un liquide noir qui est de l'huile de pétrole.

Les anaérobies stricts ne sont pas les seuls à intervenir dans l'évolution des huiles de pétrole. Imelik a montré récemment que les anaérobies facultatifs [1] du sol et des eaux peuvent altérer les pétroles et s'en nourrir, en particulier *Pseudomonas æruginosa* qui peut croître sur pétrole brut.

Vers la fin du dernier demi-siècle on assiste à un tournant de la pensée des bactériologistes au sujet de l'action des bactéries dans la formation des pétroles : jusque-là on avait vécu sous l'influence de la directive de Beijerinck rappelée par Starkey, qui avait écrit : « Les deux phénomènes de réduction les plus importants, continuellement en train dans notre entourage, dans ce qu'on appelle la minéralisation des substances organiques sont la réduction des nitrates et celle des sulfates ». Starkey rappelait aussi à ce sujet, en tête de son important mémoire de 1947, la directive de von Wolzogen Kühr : « La réduction des sulfates est l'un des processus microbiens les plus fréquents sur la terre ». On vivait donc sur l'idée que la formation des pétroles était intimement liée à la réduction des sulfates, car celle-ci est l'un des rares processus microbiens pouvant réaliser dans la nature le Eh nécessaire [2] à la formation de pétrole, soit — 0,250 mV. Or la revue générale de Schwartz et Müller en 1948 envisage le problème sous son angle le plus large et montre en particulier le rôle parallèle des aérobies dans cette production.

A l'Institut Pasteur, depuis 1940, des recherches ont été entreprises dans ce sens. Dans une première phase, nous avons établi la formule de la flore anaérobie fondamentale des sédiments d'eau douce septentrionaux. Ceux-ci ont comme flore de base le groupe *Clostridium bifermentans*, *Cl. valerianicum*, *Cl. caproicum* plus ou moins associé à *Welchia perfringens* et à

1. On sait qu'on appelle anaérobies stricts les microbes qui ne peuvent se développer qu'à l'abri de l'oxygène, et facultatifs ceux qui acceptent les deux modes de vie, modifiant en conséquence leur métabolisme.

2. Le symbole Eh est la mesure du potentiel d'oxydo-réduction en millivolts par le potentiomètre électrique. C'est la seule mesure exacte du « redox », alors que le symbole rH est une mesure logarithmique approximative par les colorants indicateurs d'oxydo-réduction.

Cl. sporogenes. Ces cinq anaérobies sont puissamment réducteurs et lipidolytiques.

En 1946 nous avons pu prospecter les sédiments tropicaux et équatoriaux d'Afrique. Nous avons eu la surprise de constater l'identité des deux flores. Des prélèvements faits par la suite en Terre Adélie ont montré la même formule, de même que ceux faits dans la baie de Rio de Janeiro, ceux du Golfe de Guinée et des lagunes Ebrié, étudiés en collaboration avec l'Institut français du Pétrole ([1]).

Au cours de nos recherches sur les gléines nous avons isolé et décrit une espèce nouvelle, *Clostridium cauteretsensis* (fig. 7), très voisine de *Cl. bifermentans;* elle est intensément sulfato-réductrice dans son milieu naturel. Isolée à Cauterets, elle a été retrouvée dans toutes les sources thermales sulfatées des Pyrénées. C'est dire que les *Sporovibrio* ne sont pas les seuls à réunir toutes les propriétés biochimiques requises pour transformer les lipides en hydrocarbures et qu'à côté d'eux une flore anaérobie très abondante peut participer au même processus.

L'ensemble de ces travaux et principalement des travaux américains a été présenté récemment de façon saisissante par Zobell au 3e Congrès International du Pétrole à La Haye. Cet éminent bactériologiste a brossé un tableau vivant des actions microbiennes ayant abouti aux pétroles. De multiples espèces bactériennes biochimiquement et écologiquement variées et variables catalysent un nombre considérable de réactions portant sur les matières organiques et inorganiques. Ces réactions en série tendent toutes, en anaérobiose, à donner des catabolites de plus en plus riches en carbone et en hydrogène, c'est-à-dire se rapprochant de plus en plus des hydrocarbures naturels. Parallèlement, 40 pour 100 de la matière organique décomposée sert à la synthèse des cellules bactériennes elles-mêmes, constituées en partie par des lipides et des hydrocarbures complexes. Parmi les gaz de fermentation, le méthane vient en tête, provenant soit de la décomposition de substances azotées, soit de la réduction de CO_2 par H_2. Les bactéries réductrices, en dehors de la production du Eh nécessaire à ces réactions, catalysent l'hydrogénation d'autres procédés aboutissant à des hydrocarbures. Les bactéries oxydantes modifient ensuite les hydrocarbures et leur font subir une évolution. Les équations biochimiques bien établies et confirmées que Zobell cite dans son mémoire seront étudiées plus loin.

Tel est l'aspect historique, chronologique, de plus d'un demi-siècle d'études sur l'aspect biologique de la formation des pétroles, prouvé indiscutablement par la reproduction au laboratoire des processus naturels. Il est caractérisé par trois points principaux :

1) Une flore anaérobie complexe y joue le rôle capital, surtout les Sporovibrions et les Clostridiales;

2) Une flore parallèle facultative et aérobie joue un rôle très grand dans l'évolution des hydrocarbures primitivement formés;

3) A côté de cette complexité bactérienne on voit la complexité des matières organiques entrant en jeu ainsi que celui des matières minérales auxiliaires.

*
* *

Nous allons maintenant reconstituer la suite des mécanismes biochimiques qui aboutissent à la production des hydrocarbures. Nous ne citerons dans ce chapitre que les équations biochimiques connues et confirmées, mais nous signalons que le champ des recherches sur ce sujet est ouvert et qu'il reste encore plus à découvrir qu'il n'a été découvert jusqu'ici.

1. Voir : A. R. Prévot, L'ubiquité des bactéries anaérobies et la notion nouvelle de microflore originelle, *La Nature*, n° 3205, mai 1952, p. 147.

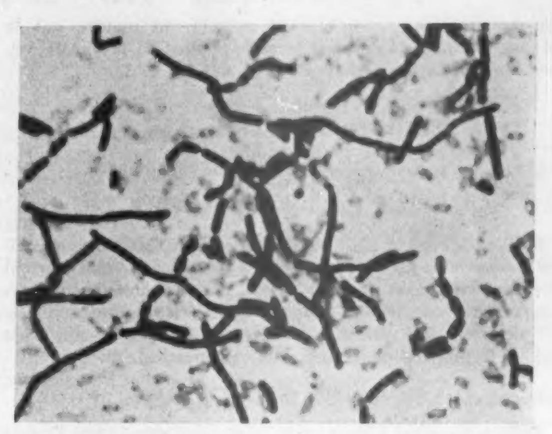


Fig. 7. — *Une bactérie des eaux sulfatées pyrénéennes :* Clostridium cauteretsensis *A. R. Prévot.*
Grossissement : × 1 400 (*Microphoto* Manigaut).

Formation bactérienne du méthane. — Le méthane CH_4 peut provenir de trois sources différentes : 1) les acides aminés; 2) les corps ternaires; 3) CO_2 et CO. Le mécanisme de sa formation est tout différent suivant la source.

Formation du méthane à partir du glycocolle. — La formation de CH_4 à partir du glycocolle résulte d'une réaction de désamination et de décarboxylation simultanées par réduction. Il intervient donc dans cette réaction trois enzymes : une désaminase (la glycocolle-désaminase), une décarboxylase et une réductase transportant l'hydrogène provenant de réactions de déshydrogénation concomitantes.

C'est un cas particulier d'une réaction plus générale de formation des hydrocarbures par le même mécanisme, dont voici le schéma :

$$\underset{\text{Acide aminé}}{R - CH_2 - CH - NH_2 - COOH} + 2H \rightarrow \underset{\text{Hydrocarbure}}{R - CH_2 - CH_3} + NH_3 + CO_2.$$

Si on prend le cas de la glycine, l'équation est :

$$NH_2 - CH_2 - COOH + 2H = CH_4 + NH_3 + CO_2.$$

Les innombrables espèces bactériennes possédant à la fois ces trois enzymes ne sont pas considérées comme des méthanogènes spécifiques. Elles ne produisent de méthane qu'occasionnellement, en présence de glycine et d'un apport d'hydrogène venant d'une autre réaction. Au contraire les deux groupes suivants sont des méthanogènes spécifiques : c'est à eux surtout qu'on doit les énormes quantités de ce gaz produit dans la nature.

Méthanogènes à partir des corps ternaires. — Les formiates, acétates, propionates, *n*-butyrates, *n*-valérates, *n*-caproates, caprylates, caprates, laurates, palmitates, margarates, stéarates, etc., ajoutés à un milieu de base (bicarbonate et sels minéraux) sont décomposés par les méthanogènes du sol et des eaux, bactéries anaérobies appartenant à trois genres et cinq espèces : *Methanobacterium omelianskii, M. formicicum, Sarcina methanica, S. barkeri, Methanococcus nielli,* suivant des équations dont l'une des plus simples, celle des acétates, est :

$$CH_3 - COOH = CH_4 + CO_2.$$

Il s'agit donc d'une décarboxylation dont Buswell et Sollo ont prouvé la réalité par l'emploi du carbone radioactif ^{14}C.

Par des expériences cruciales les auteurs ont montré que le carbone du méthyle devenait le carbone du CH_4 et que le carbone du carboxyle devenait celui du CO_2 :

$$^{14}CH_3 - COOH = {}^{14}CH_4 + CO_2$$
$$CH_3 - {}^{14}COOH = CH_4 + {}^{14}CO_2.$$

Quand on part de l'acide propionique on obtient :

$$4CH_3 - CH_2 - COOH + 2H_2O = 4CH_3 - COOH + 3CH_4 + CO_2.$$

Méthanogènes à partir du CO_2 et du CO. — Les quantités prodigieuses de CO_2 formées par voie bactérienne peuvent être immédiatement réduites par H_2 naissant des déshydrogénations microbiennes et donnent CH_4. C'est Sohngen qui le premier avait fait cette hypothèse et c'est Barker et Stadtman qui l'ont prouvée par l'emploi du radiocarbone :

$$^{14}CO_2 + 4H_2 = {}^{14}CH_4 + 2H_2O.$$

Enfin récemment Kluyver et Schnellen ont prouvé que l'oxyde de carbone lui-même pouvait être transformé par *Methanosarcina barkeri* et *Methanobacterium formicicum* en CH_4 suivant l'équation :

$$4CO + 2H_2O = CH_4 + 3CO_2.$$

Ceci ne concerne que les mécanismes connus et prouvés. Il est possible que d'autres mécanismes existent qui seront découverts peu à peu. Par là on voit la pluralité des modes de formation du plus simple des hydrocarbures naturels. A mesure que les poids moléculaires croissent, cette pluralité augmente dans tous ses facteurs : multiplicité des sources de matières premières, multiplicité des espèces en jeu, multiplicité des mécanismes et des interactions microbiennes.

Formation bactérienne des pétroles. — Nous n'envisagerons que la formation des pétroles à partir d'une seule source : les lipides. Nous en avons esquissé le mécanisme schématique au Congrès de Bruxelles (1949) :

Première étape : lipidolyse. — C'est l'œuvre des lipases bactériennes, avant tout de celles des anaérobies, réducteurs ou non des sulfates. Prenons comme exemple un triglycéride; il se produit d'abord l'hydrolyse catalytique par lipase qui fournira un acide gras :

$$\begin{array}{l} CH_3 - (CH_2)_nCOO - CH_2 \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\quad | \\ CH_3(CH_2)_n - COO - CH + 3H_2O \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\quad | \rightarrow 3CH_3 - (CH_2)_n - COOH + \text{glycérol.} \\ CH_3(CH_2)_n - COO - CH_2 \end{array}$$

Cette action enzymatique peut conduire entre autres à l'acide caprique dont Zobell et ses collaborateurs ont montré expérimentalement qu'il peut servir à la synthèse des constituants des pétroles.

Deuxième étape : réduction des acides gras en hydrocarbures. — L'hydrogène nécessaire aux réductions peut provenir par exemple des galactanes des algues ou d'autres glucides donateurs, végétaux ou animaux, métabolisés par les déshydrogénases bactériennes. Voici l'équation :

$$CH_3 - (CH_2)_n - COOH + 3H_2 = CH_3 - (CH_2)_n - CH_3 + 2H_2O$$

où n peut être 12, 14 ou 16. Les hydrocarbures où n est plus grand que 16 se produisent par polymérisation.

Enfin les hydrocarbures non saturés sont hydrogénés par certains anaérobies suivant l'équation :

$$RHC = CHR' + H_2 \rightarrow RCH_2 - CH_2R'.$$

Troisième étape : évolution des hydrocarbures à poids moléculaire élevé en hydrocarbures à poids plus faible. — Par le jeu des oxydations on obtient des remaniements du type suivant :

$$CH_3 - (CH_2)_n - CH_3 + 3O$$
$$\rightarrow CH_3 - (CH_2)_{n-1} - CH_3 + CO_2 + H_2O.$$

Quatrième étape : migration. — Par action de surface du CO_2 les huiles de pétrole deviennent moins visqueuses et coulent de la roche-magasin vers les poches. Il peut se produire aussi des remaniements des constituants tels ceux que Zobell a mis en évidence :

$$CH_4 + CO_2 + 3H_2 = C_2H_6 + 2H_2O$$
$$C_2H_6 + CO_2 + 3H_2 = C_3H_8 + 2H_2O$$
$$C_3H_8 + CO_2 + 3H_2 = C_4H_{10} + 2H_2O$$
$$C_4H_{10} + CO_2 + 3H_2 = C_5H_{12} + 2H_2O.$$

Conclusions. — L'étude bactériologique de la formation des pétroles a révélé un certain nombre de mécanismes enzymatiques dont les uns sont simples et les autres complexes. Ces mécanismes sont multiples. Il en reste un grand nombre à découvrir. On ne connaît pas encore toutes les espèces bactériennes qui entrent en jeu, ni toutes les sources de matières premières. Ceci explique la grande diversité des pétroles et de leurs constituants.

Ces recherches sont actuellement purement spéculatives. Elles répondent à ce besoin de l'homme : « savoir pour savoir ». Elles n'ont aucune application pratique en vue dans le présent ni dans un proche avenir. C'est dire qu'elles en sont encore au stade gratuit. Il faut néanmoins les continuer, car il en pourrait être tout autrement dans un demi-siècle, si l'on accepte la prévision pessimiste assignant cette durée aux réserves mondiales de pétrole. Ce n'est pas trop de 50 ans pour se rendre maître de ces mécanismes, d'en trouver les accélérateurs, les optima d'action, afin de pouvoir un jour fabriquer les hydrocarbures dont l'humanité fait une consommation croissante. Admettons même que dans 50 ans on n'ait plus besoin d'essence comme source d'énergie, que toute l'énergie utilisée par l'homme soit alors d'origine hydroélectrique, solaire ou atomique. Mais on aura plus que jamais besoin de solvants et de plastifiants et il ne faut pas oublier que les bactéries en cultures pures et placées dans leurs conditions optima d'action sont capables de réaliser en quelques jours ou en quelques semaines des fermentations pouvant produire les matières précieuses que la nature a mis des siècles ou des millénaires à accumuler en conditions anarchiques ou contingentes.

Déjà des milliers de fermes et de petites agglomérations rurales se chauffent, s'éclairent et tournent avec le méthane du « gaz de fumier », ce qui permet de prévoir que dans peu de temps d'autres hydrocarbures seront produits par voie de fermentation dirigée et que dans un avenir lointain on pourra fabriquer par cette méthode toute la gamme des hydrocarbures dont on aura besoin.

A. R. Prévot,
Chef du service des Anaérobies
à l'Institut Pasteur.

Le sélénium dans les plantes

On a pu extraire du sélénium de plantes qui ont la faculté d'accumuler cet élément dans leurs tissus. Une légumineuse, l'*Astragalus racemosus*, peut en contenir jusqu'à 1,5 pour 100 alors que le sol sur lequel elle se développe n'en contient que 0,005 pour 100.

L'espace vide est-il un mythe ?

2. La matière intergalactique

Dans un premier article ([1]) nous avons vu comment il avait fallu renoncer, depuis le début de ce siècle, à l'idée ancienne du vide des espaces séparant les étoiles, espaces que l'on sait maintenant être occupés par un milieux gazeux et poussiéreux diffus. Ce fut, dès lors, dans les espaces immenses séparant les unes des autres les galaxies, ces énormes systèmes stellaires extérieurs au nôtre, que l'on crut pouvoir trouver le vide absolu, l'absence totale de matière. Nous allons voir comment cette notion, après avoir semblée vérifiée par l'observation, a elle aussi subi dans ces dernières années de très sérieuses atteintes qui semblent devoir nous obliger à abandonner finalement cette persistante illusion du vide de l'espace cosmique.

L'espace intergalactique. — C'est vers 1923-1924, il y a déjà trente ans, que l'existence de vastes systèmes stellaires analogues à notre Galaxie fut définitivement établie par E. Hubble, à l'observatoire du Mont Wilson. La grande nébuleuse d'Andromède, à une distance de l'ordre du million d'années-lumière, est le prototype et l'une des plus voisines de ces galaxies extérieures qui peuplent les profondeurs de l'espace jusqu'à la limite de portée des plus grands télescopes.

Il parut dès lors logique de penser que toute la matière universelle se trouve concentrée dans ces gigantesques systèmes, que ce soit sous forme condensée — les étoiles — ou sous forme diffuse — la matière interstellaire. L'espace séparant les galaxies semblait devoir réaliser cet idéal du vide parfait auquel il avait fallu renoncer pour l'espace interstellaire.

Pour vérifier cette hypothèse du vide de l'espace intergalactique, le directeur de l'observatoire de Harvard College, H. Shapley, effectua vers 1930 une étude comparative de l'éclat des nébuleuses proches et lointaines dans la constellation de la Vierge. Dans cette constellation se trouve un grand amas de nébuleuses relativement proche, à une distance qu'à cette époque on estimait à quelque 7 ou 8 millions d'années-lumière ([2]) ; mais au delà de cet amas, des groupes ou amas plus lointains apparaissent à différentes distances s'échelonnant jusqu'à près d'une dizaine de fois celle de l'amas le plus proche.

Si l'espace intergalactique est réellement vide et parfaitement transparent, les nébuleuses lointaines doivent apparaître à la fois plus petites et moins lumineuses que les nébuleuses proches, mais le rapport de leur luminosité totale à leur surface apparente, c'est-à-dire leur éclat par unité de surface ou *brillance*, doit rester le même. Si, au contraire, un effet d'absorption par un milieu gazeux ou poussiéreux se superpose au simple effet géométrique de la distance, les nébuleuses lointaines doivent apparaître en quelque sorte plus « ternes » que les nébuleuses proches, leur brillance doit être réduite. Shapley, se basant sur les magnitudes et diamètres de plus de 2 000 nébuleuses cataloguées à Harvard dans cette région de l'amas de la Vierge, trouva que, dans la limite de précision des mesures, la brillance des nébuleuses lointaines est, en moyenne, la même que celle des nébuleuses proches : dimensions et luminosité apparentes décroissent comme l'exige la simple géométrie d'un espace vide. Il conclut donc à l'absence d'absorption intergalactique.

Cette conclusion fut critiquée par l'astronome russe Eigenson qui, se basant également sur les catalogues de nébuleuses de Harvard, pensa au contraire avoir décelé un affaiblissement des nébuleuses lointaines, indice d'un effet d'absorption dans l'espace intergalactique. Effet d'ailleurs très faible et qui n'apparaît que grâce aux très grandes longueurs en jeu.

En fait il est difficile de conclure avec sécurité dans un sens ou dans l'autre, car les mesures d'éclat et de dimensions des nébuleuses effectuées il y a vingt ans étaient affectées de sérieuses erreurs systématiques qui n'ont été progressivement reconnues que depuis une dizaine d'années. Les difficultés expérimentales sont considérables et sont encore loin d'avoir été parfaitement surmontées ; on ne saurait, en tout cas, tabler sur ces données anciennes pour résoudre le problème de la transparence de l'espace intergalactique.

Les idées de Zwicky. — Déjà au cours des dernières années précédant la seconde guerre mondiale et au début de celle-ci, l'astronome et physicien F. Zwicky, travaillant à l'observatoire du Mont Palomar aux États-Unis, avait avancé certaines idées assez révolutionnaires concernant l'espace intergalactique et mettant en doute le vide parfait de cet espace.

Zwicky avait fait observer, en particulier, que du fait de l'abondance des galaxies dans l'espace et de leurs dimensions comparées aux distances qui les séparent, les collisions entre galaxies doivent être assez fréquentes. Au cours de ces collisions, comme nous le verrons mieux plus loin, la structure interne des galaxies se trouve violemment perturbée : des étoiles peuvent échapper à l'attraction de leur système d'origine et être précipitées au loin vers l'espace intergalactique ; de même le gaz et les poussières interstellaires peuvent entrer en collision effective, être abandonnés « en arrière » par chacune des galaxies et échapper à leur attraction. Ce dernier mécanisme a d'ailleurs été invoqué plus récemment par Baade et Spitzer pour expliquer l'absence de matière interstellaire dans les galaxies elliptiques peuplant les amas de galaxies.

D'autre part, pour des raisons théoriques, Zwicky pensait qu'il ne peut exister aucune limite inférieure à la dimension d'un système stellaire. De même que dans le cas des étoiles, nos catalogues sont formés en majorité des géants de la famille que l'on peut apercevoir de très loin, alors que les systèmes nains de très faible éclat passent facilement inaperçus et ne sont reconnus qu'occasionnellement. Ainsi nos statistiques sont très loin de nous donner une image fidèle du peuplement de l'espace et favorisent énormément les galaxies géantes. En effet, au cours des quinze dernières années, un bon nombre de galaxies naines de faible éclat ont été découvertes dans notre voisinage, alors que notre recensement des galaxies géantes proches est complet depuis longtemps.

Même lorsque l'attention est spécialement dirigée vers les systèmes nains, leur découverte reste, pour des raisons techniques, extrêmement difficile et, sans nul doute,

1. L'espace vide est-il un mythe ? 1, La matière interstellaire, *La Nature*, n° 3228, avril 1954, p. 124.
2. L'échelle des distances extra-galactiques a été récemment révisée de sorte que toutes les distances précédemment évaluées doivent être multipliées par 2 environ. La distance de l'amas de la Vierge est donc plus probablement voisine de 15 millions d'*années-lumière*.

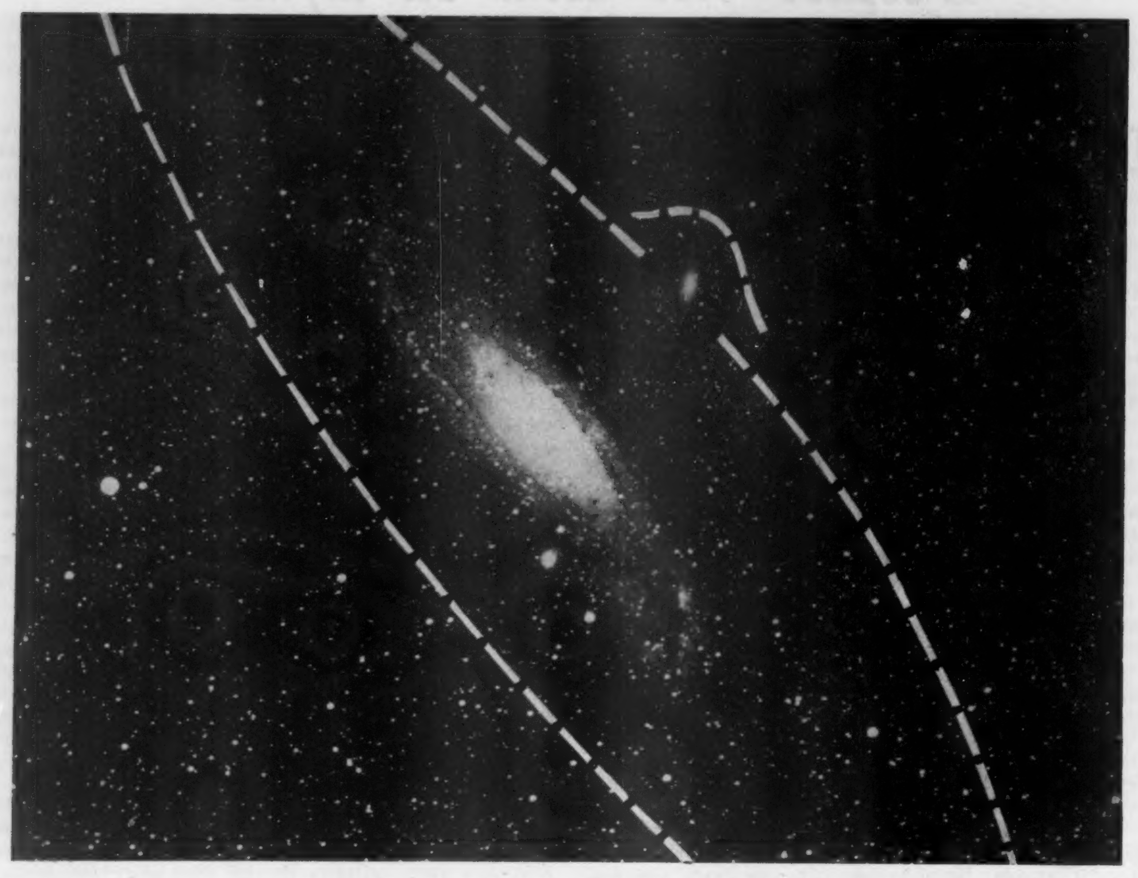


Fig. 1. — *Extension réelle de la grande nébuleuse d'Andromède.*
Seules les régions centrales brillantes, à structure en spirale, apparaissent directement sur les photographies ; mais les mesures photométriques décèlent une extension réelle bien plus considérable, délimitée ici par le trait interrompu.

même alors, la récolte sélectionne encore les objets relativement importants. Par exemple dans l'amas de la Vierge, pourtant recensé déjà en détail par plusieurs astronomes, une nouvelle étude faite l'an dernier par G. Reaves, à l'Observatoire Lick, aux États-Unis, a livré plusieurs dizaines de galaxies naines qui avaient échappé jusque-là.

Dans ces conditions il devient très difficile de fixer une limite inférieure aux dimensions et à la population des systèmes stellaires. Zwicky suggérait donc que l'espace intergalactique, censé « vide », devait en réalité être peuplé par toutes sortes d'objets, depuis des atomes isolés, c'est-à-dire un gaz très raréfié, jusqu'aux galaxies naines que l'on commence à récolter peu à peu, en passant par des poussières, peut-être des météorites de toutes dimensions, puis des étoiles isolées et des groupes d'étoiles d'importance croissante, jusqu'à des agglomérations de calibre suffisant pour mériter le nom de galaxies.

Ces idées furent longtemps assez mal reçues par la plupart des astronomes car, en l'absence de preuve fondée sur des observations directes, elles apparaissaient à beaucoup comme des spéculations plutôt hasardées et contraires aux résultats que nous avons rappelés sur la transparence de l'espace intergalactique.

La situation s'est grandement transformée au cours des toutes dernières années, à mesure que s'accumulaient des observations appuyant les idées de Zwicky.

Les franges externes des galaxies. — Un premier indice favorable fut apporté par les études photométriques effectuées sur un certain nombre de galaxies assez proches pour être étudiées en détail. Ces études ont établi que les dimensions des galaxies telles qu'elles apparaissent au simple examen sur les clichés photographiques ne donnent qu'une idée très trompeuse de l'étendue véritable de ces systèmes.

Les dimensions de la grande nébuleuse d'Andromède, par exemple, telles qu'elles figuraient dans les catalogues il y a vingt ans ne dépassaient pas 2° 1/2 pour le grand axe et 40 minutes d'arc pour le petit axe. Mais depuis lors, l'étude clichés à l'aide du microphotomètre enregistreur a permis de reconnaître que la nébuleuse s'étend en fait beaucoup plus loin (fig. 1), sur plus de 400 minutes — près de 7° — de longueur et au moins 90 minutes de largeur, d'après les mesures des Américains Williams et Hiltner, de l'observatoire de l'Université du Michigan. C'est là un accroissement de deux à trois fois par rapport aux données anciennes et il n'y a aucune



Fig. 2. — *La nébuleuse des Chiens de Chasse et son satellite irrégulier.*
Tirage négatif d'un cliché obtenu à l'aide de l'astrographe de 20 cm de l'Observatoire du Houga (Gers). Les régions centrales brillantes (ici en noir) sont reliées au satellite par un faible bas continuant l'un des bras de la spirale.



Fig. 3. — *Franges externes de la nébuleuse des Chiens de Chasse.*
Tirage négatif d'après un cliché obtenu à l'aide du télescope de 80 cm de l'Observatoire de Haute-Provence. Les franges, mises en évidence par renforcement répété de photographies à longue pose, révèlent une grande extension du satellite irrégulier et un second bras très faible reliant le satellite à la spire opposée de la nébuleuse. La structure spirale classique est ici perdue dans la masse noire centrale surexposée.

raison de penser que la limite réelle a été atteinte ; la limite indiquée ne représente que l'étendue décelable avec les moyens actuels. L'introduction de méthodes de mesure plus sensibles permettra sans aucun doute de déceler de nouvelles franges externes encore plus faibles, la population stellaire de la nébuleuse se raréfiant progressivement vers l'extérieur sans qu'aucune limite définie puisse lui être assignée.

Ce résultat est tout à fait général et a été retrouvé pour les galaxies de tous types [1]. Pour autant que l'on puisse en juger, les systèmes stellaires s'étendent avec une densité progressivement décroissante jusqu'à de très grandes distances de leur centre et, peut-être, n'ont pas d'autres limites que celles imposées par la présence des autres galaxies dont les franges externes se rejoindraient donc à mi-chemin.

J'ai récemment calculé que dans les *amas* de galaxies la densité stellaire à mi-chemin de deux nébuleuses voisines est très loin d'être négligeable ; elle serait de l'ordre d'un dixième de la masse solaire par parsec cube, ce qui est la densité qui règne dans notre Galaxie au voisinage du Soleil (situé comme on le sait fort loin du centre du système). Une telle densité correspond à une émission de lumière tout à fait mesurable et, effectivement, Zwicky a déjà annoncé avoir réussi à déceler le fond continu lumineux dans lequel baignent les galaxies des régions centrales des grands amas de nébuleuses. Dans ces amas on pourrait presque considérer que les galaxies ne constituent plus que des condensations au sein d'une sorte de « plasma » continu formé sans doute de gaz, de poussières et d'étoiles. Nous reviendrons plus loin sur ce point.

1. *La Nature*, n° 3181, mai 1950, p. 129.

Les ponts lumineux entre galaxies. — Mais la preuve la plus nette de l'existence de matière entre galaxies a été apportée par la découverte récente de « ponts » ou « liens » lumineux joignant entre elles des galaxies relativement fort éloignées.

On connaissait déjà des cas de galaxies doubles ou multiples très rapprochées entre lesquelles existe une liaison apparaissant parfois sous forme de bras en spirale. La célèbre nébuleuse des Chiens de Chasse (Messier 51) et son compagnon irrégulier en constituent un bel exemple ; ici le compagnon apparaît comme une forte condensation située à l'extrémité d'un bras en spirale de la nébuleuse principale (fig. 2). Mais, dès 1904, le célèbre opticien-astronome G. W. Ritchey, utilisant le télescope de 60 cm de l'observatoire Yerkes, avait, dans une publication peu connue, signalé que l'autre bras de la spirale qui, sur les photos ordinaires, paraît se perdre dans l'espace, se continue en fait très faiblement et, après avoir décrit une vaste courbe externe, revient se rattacher lui aussi au compagnon. Le compagnon lui-même est entouré par une vaste nébulosité d'apparence

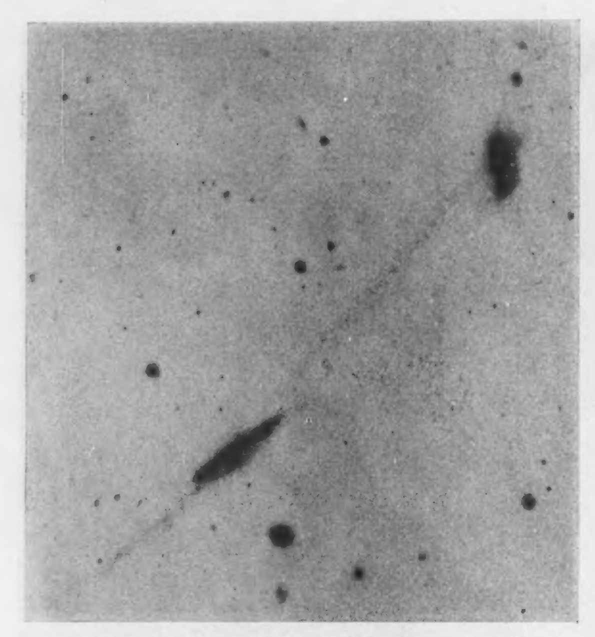


Fig. 4. — *Paire de galaxies en spirale reliées par un filament de matière intergalactique.*

Tirage négatif d'après une photographie prise par F. Zwicky à l'aide du télescope de 5 m de l'Observatoire du Mont Palomar. Remarquer le « contre-filament » émergeant de la spirale à l'opposé du lien direct.

amorphe s'étendant jusqu'à une grande distance de son centre. Ces aspects sont mis en évidence lorsqu'on renforce l'impression photographique par « contretypage » sur plaques positives à grand contraste. La figure 3 permet peut-être de distinguer ces aspects ; la structure spirale classique est perdue dans la masse noire centrale surexposée.

Dans le cas précédent on hésitera à qualifier d'intergalactique la matière constituant l'enveloppe externe de la spirale et de son compagnon. Mais des cas beaucoup plus frappants ont été découverts tout récemment par Zwicky ; la figure 4 en donne une idée. Il s'agit dans ce cas de deux spirales largement séparées, mais réunies par un lien de matière constituant comme une sorte de bras en spirale étiré presque en ligne droite sur toute la distance allant d'une galaxie à l'autre. On remarquera qu'à l'opposé de ce lien un bras incurvé symétrique apparaît à gauche de la spirale principale, vue ici presque de profil.

L'aspect de ce bras suggère immédiatement une explication possible du phénomène : il semble s'agir d'un filament extrait par action gravifique, par « effet de marée », et auquel correspond alors naturellement une marée symétrique dans la région opposée de la spirale.

Cette analogie verbale ne signifie naturellement pas que la théorie du phénomène soit simple et ne pose pas de problème sérieux. Bien au contraire il paraît probable que ces liens lumineux entre galaxies vont constituer dans les années à venir des problèmes très épineux pour les théoriciens de la dynamique des galaxies.

D'ailleurs des cas encore plus compliqués ont été déjà trouvés par Zwicky, qui annonce en avoir récolté plusieurs centaines d'exemples sur les photographies prises au Mont Palomar, tant à l'aide du télescope Schmidt de 125 cm qu'à l'aide du grand télescope de 5 m. Un autre cas illustré par la figure 5 concerne cette fois trois galaxies reliées entre elles par une sorte de filament sinueux. La distance du système étant estimée à quelque 80 millions d'années-lumière (dans la nouvelle échelle de distances) d'après le déplacement vers le rouge des raies spectrales (indiquant une vitesse de fuite de 7 250 km/s), la longueur du filament dépasse 150 000 années-lumière. On remarque aussi que le filament est plus diffus et plus large à mi-chemin entre deux des galaxies, indiquant probablement que les étoiles qui le constituent sont en train d'échapper à l'attraction de l'une et l'autre galaxies et s'évadent vers les espaces intergalactiques.

Une foule de problèmes est soulevée par cette découverte des ponts lumineux entre galaxies, découverte qui avait d'ailleurs été anticipée, il y a près de vingt ans, mais sans retenir alors l'attention. En 1935, en effet, l'astronome P. C. Keenan avait découvert, sur une photographie prise à l'observatoire Yerkes à l'aide du réflecteur de 60 cm, que les deux nébuleuses NGC 5216 et 5218 de la Grande Ourse étaient « réunies par une faible bande nébuleuse bien définie » et il attirait l'attention sur le caractère anormal et surprenant de cette liaison. Comme il arrive bien souvent, ce cas unique ne parut constituer qu'une anomalie bizarre, un « jeu de la nature », et il fut pratiquement oublié jusqu'à ce que les nombreux cas analogues découverts par Zwicky vinssent le tirer de l'oubli.

Galaxies en collision. — Un autre cas remarquable de matière intergalactique est observé dans certaines paires ou groupes de galaxies en contact étroit et pratiquement en cours de collision. Il ne s'agit pas ici de ces « mondes en collision » dont on a entendu parler dernièrement à propos d'une « théorie » fantaisiste des révolutions cosmiques. Il s'agit d'un phénomène très réel celui-là, et autrement grandiose : celui de la rencontre de deux systèmes stellaires tout entiers s'abordant dans l'espace à des vitesses relatives de plusieurs centaines ou milliers de kilomètres par seconde. Remarquons en passant que, même à ces énormes vitesses, la rencontre des deux systèmes est un phénomène se déroulant à travers des *millions de siècles* et dont on doit donc envisager la marche à cette gigantesque échelle de temps et d'espace

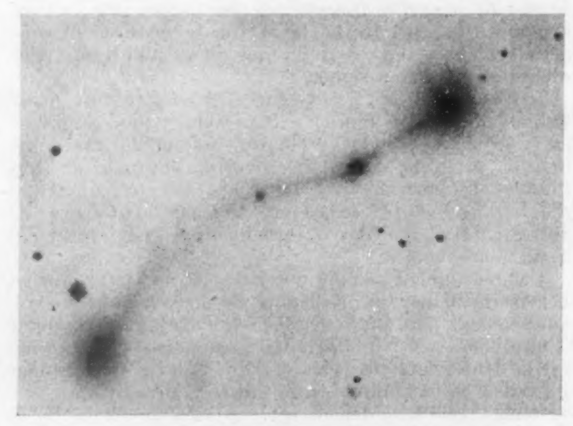


Fig. 5. — *Groupe de trois nébuleuses reliées par un filament sinueux de matière intergalactique.*

Dessin établi d'après une photographie obtenue par F. Zwicky à l'aide du télescope Schmidt de 125 cm de l'Observatoire du Mont Palomar. Remarquer l'élargissement du filament, à mi-chemin des deux galaxies les plus éloignées, suggérant l'évasion des étoiles constituantes vers l'espace intergalactique.

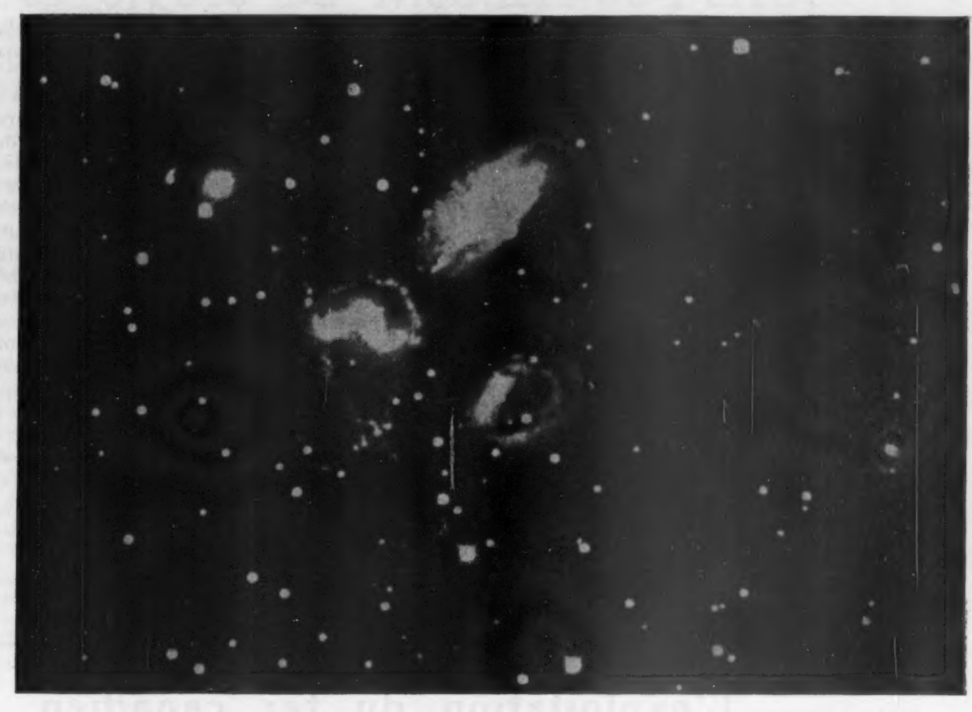


Fig. 6. — *Le groupe de nébuleuses de Stephan.*
Photographie obtenue à l'aide du télescope de 1,50 m de l'Observatoire du Mont Wilson. Exemple frappant des forces disruptives en jeu au cours de l'étroit rapprochement de plusieurs galaxies.

(une vitesse de 100 km/s, par exemple, correspond à un déplacement de 300 années-lumière par million d'années et les dimensions des galaxies se chiffrent par dizaines de milliers d'années-lumière).

Un groupe célèbre de nébuleuses découvert vers 1880 par Stephan, avec le télescope de Foucault, de 80 cm d'ouverture, à l'observatoire de Marseille, présente un bel exemple de matière intergalactique diffuse apparaissant sous forme d'un nuage lumineux irrégulier où se détachent aussi des masses sombres, indice probable de nuages poussiéreux arrachés aux galaxies dans leurs collisions multiples. La structure déchiquetée de ces galaxies, les fragments de bras spiralés qui s'en détachent sont aussi des indications de la gravité des perturbations subies par ces systèmes dans cette grandiose mêlée cosmique (fig. 6)

Un autre exemple, récemment trouvé par l'auteur de cet article à l'aide du télescope de 75 cm de l'observatoire du Mont Stromlo, concerne la nébuleuse NGC 3256, dans la constellation australe des Voiles du Navire. Les clichés montrent qu'il s'agit en réalité de deux galaxies en collision dont le noyaux brillants sont pratiquement en contact ; ceux-ci sont entourés par une sorte de tourbillon lumineux complexe d'où émergent, tels deux vastes tentacules, de longs et faibles rubans onduleux de matière intergalactique (fig. 7). La distance du système n'est pas connue avec précision, mais une estimation provisoire indique l'échelle gigantesque du phénomène : quelque 100 000 années-lumière, d'un bout à l'autre du filament. Là encore l'interprétation détaillée de tels aspects promet de soulever des problèmes théoriques ardus.

La matière absorbante intergalactique. — Dans tous les cas précédents on peut observer que la matière lumineuse ou obscure décelée reste relativement voisine des galaxies et visiblement associée à celles-ci, bien que s'étirant sur des distances largement supérieures aux dimensions classiques de ces systèmes. Existe-t-il de la matière loin de toute galaxie, de la matière que l'on

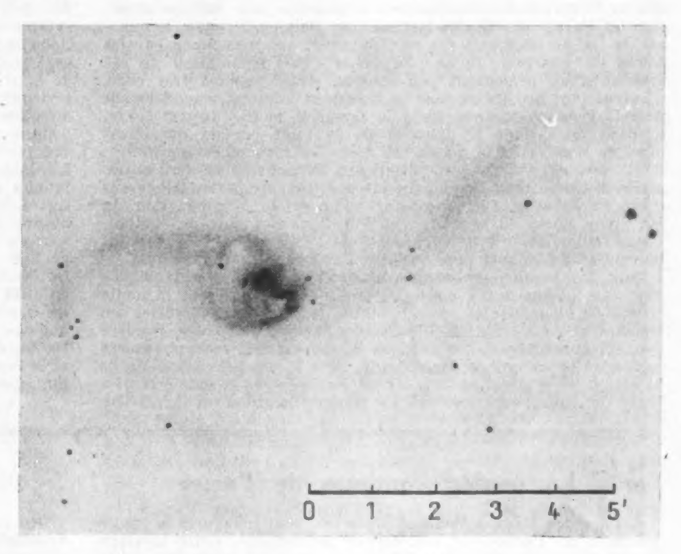


Fig. 7. — *Galaxies en collision.*
Dessin établi d'après une photographie obtenue à l'aide du télescope de 75 cm de l'Observatoire du Mont Stromlo. Les deux nébuleuses en collision sont entourées de longs courants sinueux de matière intergalactique.

ne puisse associer directement à aucune galaxie particulière ?

La réponse à cette question est encore incertaine, mais Zwicky a tout récemment annoncé avoir obtenu des indices très nets de la présence dans l'espace intergalactique de masses de matière absorbante diffuse exerçant sur la lumière des objets lointains une action tout à fait analogue à celle qu'exerce la matière sombre, la poussière interstellaire dans notre Galaxie. Cette conclusion est fondée sur des dénombrements de nébuleuses et d'amas de nébuleuses effectués sur les clichés obtenus à l'aide du télescope Schmidt de 125 cm du Mont Palomar. On aura une idée de l'importance de l'entreprise et de l'étendue des données d'observation sur lesquelles cette conclusion repose par le nombre des nébuleuses dénombrées par Zwicky : près de deux millions jusqu'à ce jour.

Sur la foi des anciens dénombrements effectués au Mont Wilson et reposant seulement sur quelques dizaines de milliers de nébuleuses, on avait été conduit à penser que la distribution des nébuleuses faibles devait être pratiquement uniforme. En effet, si l'espace intergalactique est transparent, les fluctuations statistiques se compensent en moyenne et d'autant plus exactement que le nombre des objets dénombrés est plus grand. Or Zwicky a trouvé, au contraire, que les nébuleuses faibles, loin de tendre vers une répartition uniforme, persistent à se distribuer de façon très irrégulière, malgré les grands nombres en jeu. Ce résultat apparaît valable non seulement pour les nébuleuses individuelles, mais également pour les amas de nébuleuses.

En particulier, nébuleuses et amas de nébuleuses lointains apparaissent beaucoup plus rares dans les régions du ciel occupées par certains amas de nébuleuses relativement proches, comme l'amas de la constellation de la Chevelure. D'après Zwicky, la seule explication plausible est qu'il existe dans l'espace intergalactique des nuages de matière absorbante, probablement gaz et poussières, qui obscurcissent les objets plus lointains et aussi que cette matière diffuse, de même que la matière condensée en étoiles, a tendance à se condenser dans les amas où se rassemblent les galaxies.

Nous ne sommes que tout au début de ces recherches dont les résultats détaillés n'ont d'ailleurs pas encore été publiés [1], mais si, comme il paraît probable ces conclusions se trouvent confirmées par le développement des études en cours, il faudra renoncer finalement au dernier vestige d'une illusion tenace et abandonner une fois pour toutes le mythe du vide dans l'espace.

Gérard de Vaucouleurs,
Commonwealth Observatory,
Mount Stromlo, Canberra.

1. Je tiens à remercier tout spécialement le docteur Zwicky qui a généreusement mis à ma disposition divers documents inédits et plusieurs des photographies utilisées dans cet article.

L'exploitation du fer canadien

On parle beaucoup en ce moment des gisements de minerai de fer du Labrador, récemment découverts. En réalité, le mot de Labrador ne doit s'appliquer qu'à la partie orientale de la presqu'île qui sépare la Baie d'Hudson de l'estuaire du Saint-Laurent ; c'est une ancienne dépendance de Terre-Neuve, acquise par le Canada en 1949. Le gisement de minerai se trouve exactement dans la province de Québec, dans la région appelée *Ungava*, à la limite du Labrador.

Parcourant en 1895 cette « terre que Dieu donna à Caïn », comme l'appelait Jacques Cartier, le géologue Low eut son attention attirée par des dépôts ferrugineux. Mais, à l'époque, le minerai de fer ne manquait pas en Amérique, approvisionnée par les mines du pourtour du Lac Supérieur ; et l'exploitation de ces gisements, au demeurant peu connus, serait revenue très cher, d'autant plus que les moyens de transport faisaient complètement défaut. Pendant presque toute la première moitié du XXe siècle, le pays resta donc le domaine de la forêt boréale quasiment déserte. Mais, avec la guerre de 1939, les recherches reprirent : le Canada en effet ne produisait pas de minerai de fer, et les réserves américaines, exploitées intensément, ne permettaient pas d'espoirs illimités. On se contenta d'abord de la production du lac Steep Rock, au nord du Lac Supérieur (les travaux comportèrent notamment le détournement de l'émissaire du lac et l'assèchement de celui-ci pour faciliter l'extraction à ciel ouvert).

Puis, les besoins croissant sans arrêt, on s'est tourné depuis 1945 vers l'Ungava ; de nouvelles prospections révélèrent la haute teneur de l'hématite et de la limonite, le caractère superficiel des couches et la facilité de l'extraction, l'importance des réserves probables, estimées à 400 millions de tonnes. Des reconnaissances aériennes permirent de dresser une carte à peu près complète de la région, et le gisement ferrifère fut localisé dans la zone comprise entre le cours supérieur de la rivière Hamilton et la rivière Kaniapiskau, ainsi que plus au nord, dans la direction de la baie d'Ungava. La surface totale de l'aire reconnue comme renfermant du minerai avoisinerait 10 000 km² (360 km nord-sud sur une largeur est-ouest variant de 10 à 60 km).

Une voie ferrée, qui doit être achevée à la fin de 1954, reliera Knob Lake, premier centre prévu de l'extraction, au port de Sept-Iles, sur le Saint-Laurent, distant de 700 km mais libre de glaces à peu près toute l'année ; le petit port canadien français, qui vivait jusqu'ici exclusivement de la pêche, de l'exploitation des bois et du commerce des fourrures, se transforme à un rythme accéléré. Avant l'achèvement de la voie, les communications se font surtout par avion. Un autre chemin de fer est envisagé pour l'avenir entre Knob Lake et Goose Bay, à l'embouchure de la rivière Hamilton (Goose Bay est déjà une importante base aérienne en face de Terre-Neuve), ainsi qu'une troisième ligne en direction de Fort-Chimo, sur la baie d'Ungava.

De nombreux projets de centrales hydro-électriques ont été mis sur pied afin de fournir la force motrice nécessaire. Les sites favorables ne manquent pas dans cette région glacée, aux innombrables eaux courantes ; mais le gel hivernal constitue un handicap. L'*Iron Ore Co of Canada* espère extraire de ce gisement une dizaine de millions de tonnes de minerai par an. D'autres ressources en minerai de fer sont attendues des minerais de titane du Lac Allard (200 000 t de fer par an) et de nickel de Sudbury. La production d'acier du Canada, qui ne dépassait pas 800 000 t en 1939, a atteint 4 millions de tonnes en 1953 ; on prévoit que les 5 millions seront dépassés en 1955. La Canada devient donc une des grandes puissances industrielles mondiales ; néanmoins, les besoins ont augmenté considérablement depuis l'avant-guerre et le Dominion continue à acheter de l'acier et des produits métallurgiques aux États-Unis et en Grande-Bretagne.

P. W.

La coulée continue de l'acier

Les aciéries Atlas, à Welland (Ontario), vont inaugurer la coulée continue de l'acier sur une échelle industrielle. Cette nouvelle technique ne va pas sans difficultés ; ses principaux avantages sont l'élimination des lingotières et de la manipulation des lingots, celle des fours Pit et du blooming (voir *La Nature*, n° 3205, mai 1952, p. 33) ; on envisage corrélativement une réduction des opérations de laminage.

Réfractaire d'origine végétale

Des recherches effectuées au Canada par l'Ontario Research Foundation ont conduit à proposer l'utilisation d'un nouveau réfractaire de provenance végétale, à base de coques de riz. Les cendres de ces déchets sont exceptionnellement riches en SiO_2, sous forme de cristobalite et de tridymite, et il a été possible de mettre au point leur emploi pour la fabrication de briques réfractaires qui persistent, non chargées, à des températures de 1 650° C.

Les orgues de Moutiers-au-Perche

Moutiers-au-Perche est une gracieuse petite localité du département de l'Orne, bâtie à flanc de coteau en bordure de la vallée de la Corbionne. Elle ne compte plus guère que 656 habitants, mais, jadis, elle était très prospère et beaucoup plus peuplée. Le notaire et le percepteur, qui témoignaient jadis de sa prospérité, l'ont abandonnée pour s'installer à 8 km de là, sur le passage du chemin de fer. Plus anciennement encore, elle possédait un monastère célèbre, fondé par saint Laumer, le monastère de Corbion, dont il reste encore quelques vestiges.

Presque en haut de la colline se dresse l'église. C'est un très beau monument dont la partie romane date du XIe siècle et qui comporte une partie gothique datant de la fin du XVe siècle. Le clocher en est assez curieux. Il est constitué par une grosse poutre verticale centrale, d'où partent plusieurs étages de bras horizontaux qui supportent les parements d'ardoise. A deux de ces bras sont suspendues deux cloches, Marie-Charlotte et Christiane. Dans cette église existe un orgue qui, depuis une centaine d'années était hors d'usage. Même les plus anciens du pays, âgés de 92 ans, ne se souviennent pas l'avoir entendu. On trouve d'ailleurs dans les archives de l'église un inventaire, datant de 1886, qui mentionne un orgue détérioré et absolument irréparable.

D'après ce que l'on peut savoir, cet orgue fut donné en 1716 par Pierre Meliand, qui fut le dernier abbé du monastère, comme en témoigne l'inscription suivante, découpée à jour dans une plaque d'alliage d'étain, autrefois soudée sur l'écusson du plus gros tuyau : *Haut et puissant seigneur messire Pierre Meliand, abbé de Moutier, 1716.*

L'orgue est d'ailleurs beaucoup plus ancien; le buffet est de style Louis XIII et, selon un spécialiste (M. Chéron, facteur d'orgues au Mans), les tuyaux datent du début du XVIIe. Il possédait encore son clavier d'époque, et sa mécanique est, semble-t-il, unique.

L'état dans lequel se trouvait cet instrument jusqu'à ces dernières années était indescriptible. A l'exception de ceux de la montre, les tuyaux jonchaient le sol de la tribune. Ils étaient aplatis, tordus, déchirés, faisant un tas de vieux métaux bons pour le chiffonnier. Les tuyaux de la montre étaient encore en place et ne tenaient que par un prodige d'équilibre. Tous étaient sérieusement déformés, partiellement aplatis. Beaucoup, surtout les plus gros, portaient des entailles faites vraisemblablement au couteau, allant du haut presque jusqu'en bas.

Des vandales avaient opéré des prélèvements, soit en pratiquant de bizarres trous d'accord supplémentaires, soit en tronçonnant les tuyaux purement et simplement. Les embases elles-mêmes n'avaient pas été épargnées. Quelques tuyaux manquaient et avaient été remplacés pour la vue par d'anciens porte-vent auxquels une ouverture maladroitement faite au couteau donnait un vague aspect de vrai tuyau. Dans le buffet s'était installée une compagnie de chauves-souris dont les déjections formaient une couche de 30 à 35 cm d'épaisseur. Cet orgue était alimenté par une batterie de trois soufflets de forme rectangulaire à cinq plis, armés de lames de bois mince et fonctionnant à la façon d'un livre.



Fig. 1. — *L'église de Moutiers-au-Perche.*
(*Photo* Fontaine).



Fig. 2. — *Les orgues restaurées.*
(*Photo* Ficheux-Leprince, La Loupe).

Dès 1951, mais surtout en 1952 et 1953, trois habitants de Moutiers, M. Henriod, le signataire de ces lignes et son fils Michel Fontaine, se sont consacrés à la remise en état de cet orgue, sans l'aide d'aucun spécialiste. La réfection des tuyaux, avec des moyens de fortune, a été extrêmement difficile; il a fallu imaginer et réaliser des procédés commodes pour redresser et planer les tuyaux, fabriquer la soudure à la fusibilité voulue, refaire de la plaque de métal pour boucher les grands trous, restaurer les tuyaux tronqués et refaire les tuyaux manquants. Cela a été possible grâce à quelques habitants qui ont donné des couverts en étain.

Le clavier ancien a d'abord été remis en état, puis remplacé par un clavier moderne plus commode. Les anciens soufflets, irréparables parce que pourris et vermoulus, ont été remplacés par une soufflerie électrique. L'orgue fonctionne maintenant à la satisfaction de tous. Il ne possède pas encore les huit jeux pour lesquels il est prévu, mais on ne désespère pas d'y arriver.

Tel qu'il est, l'instrument figure parmi les orgues les plus anciennes de France en état de jouer avec leurs tuyaux d'origine; ces tuyaux lui confèrent une sonorité remarquable. Et c'est le seul orgue aussi ancien à avoir été entièrement remis en état par les habitants du pays.

Louis Fontaine.

Les premiers Grands Prix de l'Invention

1. L'ionophone et la production de sons audibles par rencontre d'ultrasons dans l'air

Nous avons naguère signalé (1) l'apparition d'un nouvel émetteur sonore, dit « ionophone », appareil qui devait par la suite valoir à son réalisateur, M. Siegfried Klein, de recevoir, en 1952, le Grand Prix de l'Invention, décerné alors pour la première fois par l'Union française des Inventeurs « à la trouvaille de l'année la plus propre à accroître le renom de notre pays dans le monde ». Ce prix, dont le promoteur est M. Trestournel, est attribué par un jury que préside M. A. Caquot, de l'Académie des Sciences.

L'ionophone est un émetteur sonore grâce auquel se trouve éliminée la fâcheuse membrane vibrante des haut-parleurs ordinaires, qui superpose nécessairement son caractère propre à celui du son qu'elle a mission de répéter. A cette membrane se substitue ingénieusement ici une membrane « immatérielle », faite d'ions qu'il fallait obtenir non dans un gaz raréfié, comme dans les tubes à gaz classiques, mais dans l'air, afin qu'ils puissent l'attaquer directement pour lui communiquer les vibrations acoustiques voulues.

L'ionophone, qui constitue un nouveau chaînon dans la série des émetteurs soniques et ultrasoniques (haut-parleurs à membrane, quartz piézoélectriques et magnétostriction), met à profit la propriété qu'ont les gaz d'être ionisés, dans certaines conditions, sous l'effet d'une tension électrique très élevée et de haute fréquence.

Ce transformateur électro-acoustique se distingue de ses prédécesseurs par deux caractéristiques essentielles : d'une part, la mise en vibration de l'air (ou d'autres gaz) a lieu sans qu'aucune pièce mobile intervienne, l'entraînement du milieu gazeux étant directement provoqué par l'agitation moléculaire de la zone ionisée; d'autre part, la suppression de toute pièce mobile dans l'entraînement des molécules en fait un émetteur à caractéristiques apériodiques capable de couvrir une gamme de fréquences allant de quelques périodes à plusieurs MHz.

La cellule thermoionique est constituée d'un minuscule tube de quartz fermé à l'une de ses extrémités. Elle comporte une électrode centrale dont la pointe est revêtue d'une couche favorisant l'émission des ions. Une seconde électrode est placée à l'intérieur du tube. On applique une tension haute fréquence entre ces deux électrodes. Il en résulte un champ électrique très intense, provoquant une ionisation de l'air contenu dans le tube et un échauffement de l'électrode centrale qui devient alors le centre d'une forte émission ionique. L'entretien de cette ionisation est assuré par un générateur haute fréquence produisant la haute tension d'excitation.

Pour obtenir une tension suffisamment élevée capable d'ioniser l'air, le procédé le plus pratique est le transformateur haute fréquence (Tesla) constitué de simples enroulements de fil isolé, sans noyau, qui ne fonctionne qu'à des fréquences très élevées de l'ordre de 1 MHz. Il n'est donc pas possible d'appliquer directement à cet appareil la tension à fréquence acoustique variable. Le signal basse fréquence à reproduire sert alors à moduler le générateur de la tension haute fréquence qui agit sur les ions créés. C'est par cet intermédiaire, sans autre liaison matérielle, qu'est transmis le mouvement à fréquence acoustique aux molécules d'air ionisées, produisant ainsi une onde

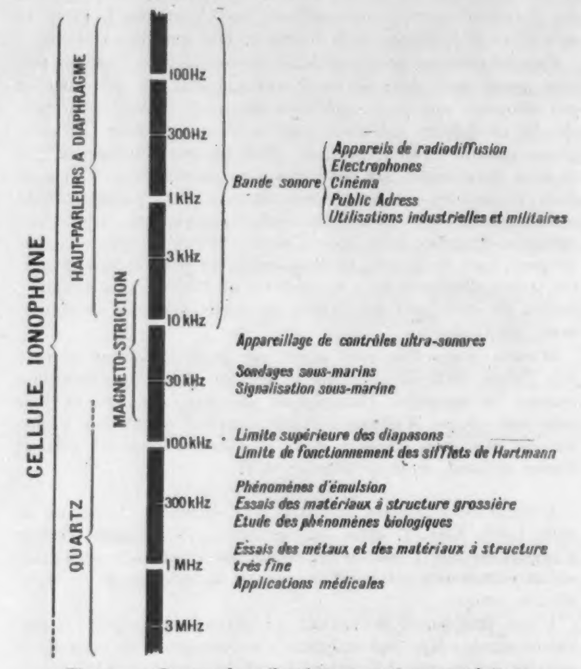


Fig. 1. — *Gamme des vibrations acoustiques produites par l'ionophone et par les autres types de générateurs, et utilisations.*

sonore ou ultrasonore selon la fréquence du signal de modulation, à la sortie de l'ionophone.

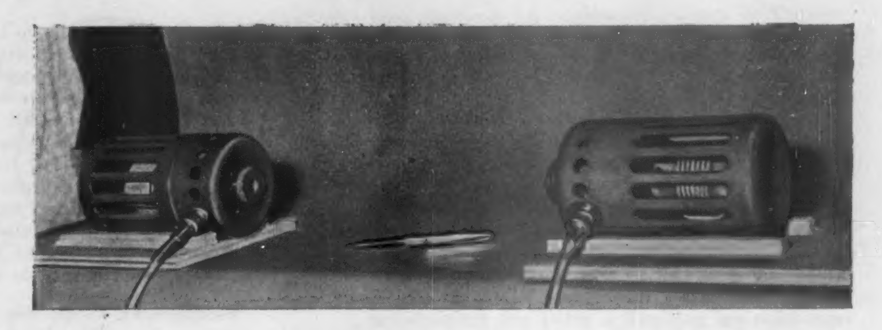
Le couplage de la cellule avec l'air ambiant est assuré par un pavillon exponentiel de dimensions réglées sur la plus basse fréquence à transmettre. Pour les fréquences sonores élevées et les ultrasons, la cellule émet directement et sans adaptateur des ondes planes.

L'appareil trouve son emploi dans deux groupes bien distincts d'utilisations. Une première application est la reproduction fidèle des sons. L'ionophone étant pratiquement sans inertie, il assure une réponse acoustique constante d'une gamme de fréquences des plus étendues. Ce système résout donc le problème de la résolution des ondes « à front raide ». Une onde de choc (par exemple, l'application d'une tension continue à l'entrée d'un amplificateur couvrant une gamme suffisante) ne provoquera aucun phénomène sonore dans l'ionophone branché à la sortie. Et cela montre que les parties actives de la cellule ionique ne possèdent aucune résonance propre dans le spectre audible. L'expérience a montré aussi que l'ionophone peut subir sans dommage des pressions quelconques dues à des explosions, ainsi que des immersions prolongées. Ces caractères d'indestructibilité le désignent donc pour les usages les plus divers.

Un second groupe d'utilisations couvre les multiples emplois, connus ou à venir, de la très large gamme des fréquences ultrasonores. L'ionophone est, jusqu'à présent, le seul généra-

1. *La Nature*, n° 3210, octobre 1952, p. 302. Voir aussi : *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. **222**, n° 22, 27 mai 1946, et t. **225**, n° 2, 9 juillet 1947.

Fig. 2. — *Deux ionophones entre lesquels les ultrasons émis se démodulent dans l'air.*



teur non résonant d'ultrasons dans l'air. Il présente l'intérêt d'être progressivement réglable en fréquence et en intensité. Il permet aussi bien la reproduction d'ondes sinusoïdales que d'impulsions, périodiques ou non, de forme quelconque. Les pressions mesurées à la sortie de la cellule peuvent dépasser le niveau rarement atteint jusqu'ici de 145 décibels au-dessus de 2.10^{-4} baryes, et se prêter à de nombreuses investigations d'ordre physique, chimique, biologique et médical.

On ne se trouve pas limité aux usages nécessitant une transmission des ultrasons dans l'air. Le passage dans les corps denses, solides ou liquides, se réalise par l'interposition, entre la sortie de la cellule et le corps envisagé, de lamelles intermédiaires de densité et d'élasticité appropriées, généralement en caoutchouc.

Transmission de la parole sur porteuse ultrasonore. — L'ionophone a récemment permis, entre autres applications, le développement de la parole sur porteuse ultrasonore (travaux de M. Pimonoff). L'appareil peut comporter plusieurs canaux, trois par exemple. Un générateur haute fréquence alimentant la cellule est modulé simultanément par trois fréquences ultrasonores (25 kHz, 30 kHz et 35 kHz). Ces trois fréquences sont elles-mêmes modulées indépendamment par les trois canaux sonores à transmettre. La réception de chacune des voies s'effectue par microphone et circuit accordé sur la fréquence ultrasonore porteuse désirée. Une détection fournit la résultante sonore directement audible.

Le problème de la traduction simultanée en plusieurs langues des discours dans une conférence internationale est un des plus difficiles qu'on puisse poser au technicien. Il faut en effet que chaque participant reçoive la traduction instantanée de l'orateur dans sa propre langue (quatre langues officielles à l'UNESCO) sans bien entendu que son voisin en soit gêné. Les systèmes usuels emploient des calques et des réseaux de distribution par fil, compliqués, coûteux et sujets à des pannes fréquentes; de plus, l'auditeur perd le fil s'il quitte sa place, et c'est là un point très important. La seule solution rationnelle qu'on ait présentée était l'émission sur ondes courtes, sur quatre longueurs d'onde, à partir des quatre cabines traductrices en chaque langue, chaque délégué étant équipé, en plus de son casque, d'un récepteur accordé sur la longueur d'onde qui l'intéresse; système coûteux, encombrant et peu discret puisque les personnes non habilitées peuvent capter les émissions à l'extérieur de la salle.

L'émission dans l'air de la salle des quatre modulations sur quatre longueurs d'ondes ultrasonores (trois seulement dans les essais effectués : 21, 29 et 37 kHz), remédie à cet inconvénient : les ultrasons ne franchissent pratiquement pas les murs de la salle et il est facile de confectionner des récepteurs ultrasonores simples, accordés sur chaque longueur d'onde, reliés aux casques portés par les délégués. Chacun de ceux-ci peut alors se déplacer dans la salle sans perdre le fil de l'audition.

Élimination du pavillon. — Après avoir réussi à éliminer le diaphragme matériel, M. S. Klein s'est donné pour objectif de se débarrasser en outre du pavillon, par lequel il a bien fallu continuer de passer jusqu'ici, quand il s'agit de voix humaines et de musique, c'est-à-dire de fréquences basses, et qui, lui aussi, présente maints inconvénients inhérents à sa structure. Cherchant ainsi le moyen de parvenir à la réalisation d'un haut-parleur affranchi de tous accessoires nuisibles à la qualité de l'émission, M. Klein a été amené à réfléchir sur la possibilité qu'il avait désormais de reproduire toute la gamme des ondes sonores à l'aide de l'ionophone et il s'est demandé si l'on ne pouvait pas obtenir un son différentiel audible à partir de deux ultrasons.

Maints chercheurs y avaient déjà songé. Des traités d'acoustique font allusion à certains résultats obtenus au moyen de sifflets de Galton. Récemment, l'expérience aurait été tentée avec des producteurs d'ultrasons plus modernes, tels que les quartz; mais de tels émetteurs restent impuissants à produire des énergies ultrasonores suffisantes dans un spectre assez étendu pour autoriser la reproduction, par ce procédé d'interférence, de toutes les notes de la gamme musicale. L'ionophone venait à point pour mettre entre les mains des expérimentateurs l'outil *ad hoc*.

M. Klein commença par disposer face à face deux cellules ioniques, reliées par un câble coaxial souple à leurs générateurs respectifs, émettant des ultrasons de fréquence légèrement différente. Il fit alors varier distances, fréquences, puissance; il



Fig. 3. — *Détection du son audible produit à la rencontre de deux ultrasons.*
On voit M. Siegfried KLEIN (à gauche) et son collaborateur M. KONAN.

multiplia les montages les plus divers, sans résultat. Puis, soupçonnant que le phénomène audible était capable de se manifester à toute petite échelle, pour ainsi dire subrepticement, il s'avisa de vérifier si, quelque part dans le volume d'air compris entre les deux cellules émettrices, n'apparaissait point un son perceptible. Il se servit d'un léger tuyau (un brin de « soupliso ») en guise de stéthoscope pour explorer l'espace en question. Or, le son était là, entre les deux ionophones...

La nouvelle laissa d'abord sceptiques la plupart des spécialistes. Un tel résultat semblait, en effet, en contradiction avec la théorie classique selon laquelle, pour que deux ultrasons se démodulent dans l'air, il faut supposer que la caractéristique de celui-ci n'est pas linéaire dans les limites de l'expérience, supposition qui paraissait *a priori* peu vraisemblable ([1]).

La méthode, perfectionnée, ayant permis de renforcer l'audition au stéthoscope, puis de la rendre nettement perceptible à l'oreille nue, les doutes ont été levés. On était effectivement en présence d'un son objectif, décelable par un analyseur de fréquences, et non pas seulement d'un son subjectif. Il ne s'agissait pas non plus d'interférences électrostatiques qui moduleraient l'un des ionophones : si l'on intercale une feuille le papier entre les deux embouchures, en un endroit quelconque, le phénomène sonore cesse aussitôt.

Ondes stationnaires. — Il a été établi que le son résultant ne varie pas de façon continue, mais présente des successions rapides de minima et de maxima, dénonçant l'existence d'ondes stationnaires, ce qui est là un phénomène capital, mis pour la première fois ici en évidence. Si l'expérience a lieu pour des fréquences de l'ordre de 30 kHz, ce qui correspond à une longueur d'onde d'environ 1 cm pour une vitesse de son supposée de 330 m par seconde, nœuds et ventres ne sont séparés que par des distances de l'ordre de quelque 5 mm. Le son résultant se manifeste avec l'intensité maximum lorsque l'un au moins des deux ultrasons a la forme d'impulsions à front raide chargées d'harmoniques et si les deux cellules sont disposées de façon à favoriser l'indispensable apparition d'ondes stationnaires. L'intensité du son résultant augmente avec la puissance des ultrasons émis et diminue avec l'écartement des cellules. A fréquences et puissances ultrasonores égales, l'intensité est fonction de la fréquence de modulation et augmente avec elle.

Perspectives. — De très intéressantes applications sont à envisager. Les ondes audibles ainsi produites à partir d'ondes inaudibles n'ont pas un point d'émission fixe comme c'est le cas dans tous les appareils sonores actuellement en usage, qu'il s'agisse d'appareils à cordes, à anches, ou d'émetteurs acoustiques de type quelconque. Les ondes audibles sont créées simultanément et dans toute la zone comprise entre les deux émetteurs, et elles y ont une intensité sensiblement égale. On peut donc obtenir ainsi une qualité de son supérieure à celle des sons émis par les appareils déjà existants, ce qui peut présenter de très grands avantages pratiques, notamment pour les auditions musicales ou autres dans les grandes salles. Et il devient possible d'obtenir les fréquences les plus basses sans pavillon amplificateur. M. Klein espère que, dans un proche avenir, il sera permis de reproduire, en toute pureté, des enregistrements divers, voire de faire directement de la musique — grâce à ce fait, qui apparaît aujourd'hui révolutionnaire : la possibilité d'engendrer un son que l'on entend par la rencontre dans l'air de deux sons que l'on n'entend pas.

1. Traitant de la distorsion non linéaire de l'air, Kupfmuller a montré qu'elle existe au-dessus de 130 décibels environ (*Systemtheorie der elektrischen Ubertrazung*, p. 236)

2. La turbine volumétrique René Planche

Le Grand Prix de l'Invention pour 1953 a été décerné à un ingénieur de Villefranche-sur-Saône, M. René Planche, pour sa turbine volumétrique, qu'on peut espérer voir adopter par l'automobile.

La turbine est à l'ordre du jour. Applicable au gaz comme à la vapeur, elle prend une importance de plus en plus grande dans le domaine des grosses puissances et des grandes vitesses. Mais jusqu'ici plusieurs inconvénients techniques en ont interdit l'application aux vitesses communément rencontrées dans la pratique industrielle pour les petites et moyennes puissances, et c'est pourquoi, malgré les divers essais tentés déjà, l'automobile n'y a pas encore pratiquement recouru.

Toutes les turbines connues utilisent l'énergie accumulée par la vitesse des gaz ou de la vapeur pour la transformer en force motrice ou inversement. Pour que cette énergie soit grande, il faut que la vapeur ou les gaz qui traversent ces machines soient lancés à des vitesses très élevées (généralement supérieures à la vitesse du son), ce qui conduit à d'importants débits, à moins d'utiliser des canaux de passage à faible section, mais alors les pertes de chaleur par les parois, les frottements gazeux et les tourbillons deviennent tels qu'ils annulent tout rendement convenable. Ces vitesses élevées des gaz conduisent à leur tour à de très grandes vitesses des roues de turbines, inutilisables pour les petites et moyennes applications. Des réducteurs deviennent obligatoires, mais de telles vitesses en écartent l'emploi. Ils seraient d'ailleurs lourds, encombrants et coûteux. Ainsi, la turbine classique, quel qu'en soit le type, paraît rester vouée aux puissances et aux débits importants.

M. René Planche a réalisé une machine qui représente dans ce domaine une innovation prometteuse. Il s'agit d'une turbine dite *volumétrique*, la production d'énergie n'y étant plus tributaire de la vitesse des gaz ou de la vapeur, mais seulement de leur pression, de leur volume et de leur température, comme dans les machines à piston (à vapeur ou à explosion). Les impossibilités précédemment évoquées disparaissent avec elle, car on se trouve dès lors autorisé à réaliser les puissances désirées — faibles, fortes ou très fortes — avec des rendements et à des vitesses convenables. Agissant par détente des gaz ou de la vapeur dans des enceintes pratiquement closes, dont les capacités varient sans frottement alternativement et automatiquement, par le fonctionnement même de la machine, il devient possible de recevoir ou d'expulser des gaz et de les faire travailler même en petite quantité ou à haute température.

L'anatomie de la turbine volumétrique est d'une remarquable simplicité (fig. 4 et 5). L'organe principal est un rotor constitué par un arbre cylindrique portant une pale radiale robuste. Il est logé dans un cylindre de travail concentrique que l'extrémité de sa pale frôle, sans frotter. Le fluide gazeux est détendu dans la chambre annulaire limitée par la pale tournante, la surface intérieure du cylindre de travail, la surface extérieure de l'arbre à pale et celle du second rotor cylindrique qui roule sans glisser sur le premier, les deux axes de rotation étant, bien entendu, parallèles. Les deux rotors sont d'égal diamètre mais comportent, pour le premier, la saillie de la pale, et pour le second une alvéole profilée pour pouvoir être entièrement balayée par la pale à chaque tour dans le mouvement de rotation en sens inverse mais à la même vitesse angulaire des deux arbres. Le second rotor est logé au-dessus du premier dans un cylindre obturateur accolé à celui du travail; il y tourne en frôlant son enveloppe, c'est-à-dire toujours sans frottement. Il est entraîné par le premier au moyen d'un engrenage comportant deux roues dentées égales, montées chacune sur l'un des axes et logées dans un carter.

Dans ce volume fermé, deux orifices sont nécessaires pour

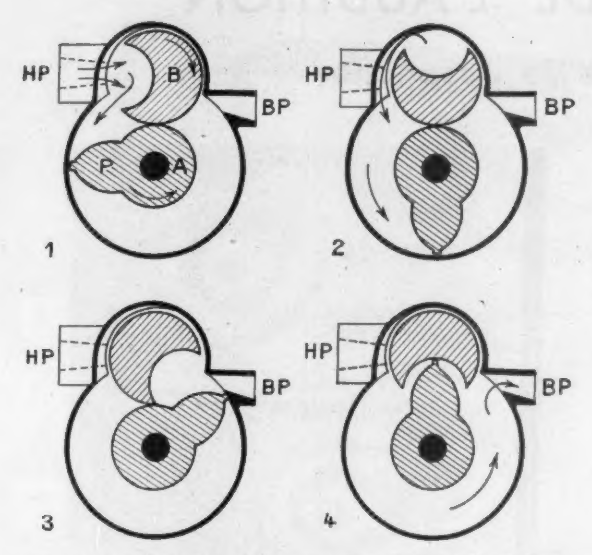


Fig. 4. — *Schéma de fonctionnement d'une turbine volumétrique René Planche.*

A, rotor de travail avec sa pale P ; B, rotor à alvéole ; HP, haute pression ; BP, basse pression. 1, le gaz est admis dans le cylindre de travail et agit sur la pale P ; 2 et 3, positions successives au cours desquelles le gaz se détend (en 2, l'admission est déjà coupée mais, grâce au canal fraisé sur le bord du cylindre, l'alvéole du rotor supérieur est encore en communication avec le cylindre de travail et le gaz qu'elle contient coopère encore à la détente) ; 4, la détente est achevée et le cylindre de travail est mis en communication avec la basse pression.

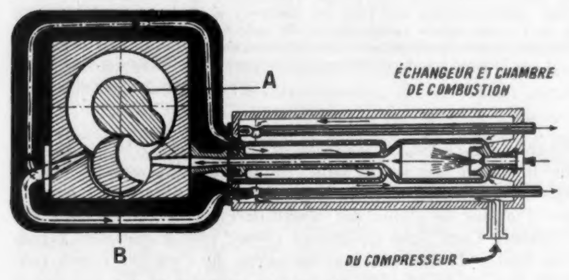


Fig. 5. — *Schéma d'une turbine à gaz comportant une turbine volumétrique René Planche.*

Les gaz de la turbine s'échappent dans l'atmosphère à droite après avoir parcouru une longue surface annulaire constituée par deux tubes emboîtés ; inversement l'air comprimé venant du compresseur entoure ces surfaces pour se réchauffer avant d'arriver à la chambre de combustion ; en outre, la tubulure à haute température qui réunit la chambre de combustion à l'admission de la turbine est entourée par une enveloppe dont le volume intercalaire est utilisé pour le réchauffage des gaz entre phases.

(D'après *La Technique moderne*).

faire passer le fluide de l'enceinte haute pression à l'enceinte basse pression. L'orifice basse pression est un simple trou situé dans la figure 4 vers la partie supérieure droite du cylindre de travail, à la hauteur où celui-ci s'accouple au cylindre obturateur; l'orifice haute pression vient prendre place sur la partie gauche et vers le milieu du cylindre obturateur; sa structure est plus complexe, le rotor à alvéole jouant le rôle de tiroir.

On peut aligner sur les mêmes arbres plusieurs cylindres et rotors avec pales et alvéoles, séparés par de simples cloisons, et décalés correctement les uns par rapport aux autres, ce qui permet de comprimer ou de détendre en plusieurs étages, solution favorable à l'obtention des bons rendements. Les tuyauteries de transfert d'étage à étage peuvent, dans ce cas, être calculées pour améliorer les rendements globaux de l'ensemble. Partout, enfin, où il y a « frôlement », des chicanes formant labyrinthe sont prévues, afin que l'étanchéité des organes soit assurée (le cylindre de travail profite d'ailleurs des défauts d'étanchéité qui pourraient exister dans le cylindre obturateur). A cet effet aussi, l'un des rotors qui roule sur l'autre est pourvu d'une chemise métallique élastique garantissant une étanchéité parfaite le long de la génératrice de contact.

De telles turbines peuvent fonctionner, suivant débits, pressions et rendements, aux vitesses classiques de 1 500, 3 000 ou 6 000 tours par minute.

L'absence de graissage interne (exception faite pour les quatre roulements d'extrémité et pour le train de pignon entraînant le rotor) rend la turbine volumétrique particulièrement intéressante pour la compression de gaz rares ou d'air non pollué, destinés à l'industrie chimique ou alimentaire. D'autre part, un champ d'applications très étendu s'ouvre à elle dans le domaine des turbines à gaz, qu'elles soient du type industriel ou applicables à l'automobile. On peut enfin envisager d'utiliser ces machines dans l'industrie frigorifique, soit comme pompes à vide pour les machines à évaporation d'eau, soit pour les très basses températures, en utilisant la détente de l'air en circuit fermé et comprimé.

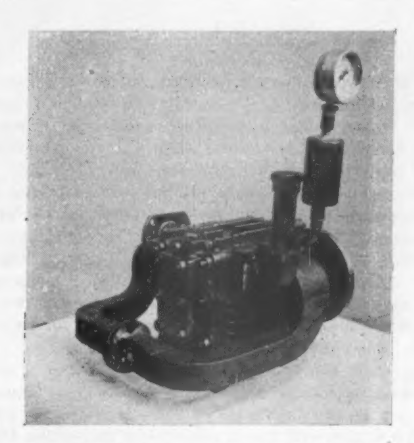


Fig. 6. — *Un petit modèle de turbine volumétrique René Planche.*

En ce qui concerne les possibilités d'application à l'automobile, il y aura intérêt à simplifier l'installation afin de diminuer les poids et les encombrements et, par suite, les résistances passives provoquées soit par le déplacement des roues sur le sol, soit par la résistance de l'air s'opposant à l'avancement du véhicule. Les machines pourront se composer simplement d'un démarreur de lancement, d'un compresseur, d'une turbine, d'une chambre de combustion, d'un échangeur de température placé longitudinalement le long du châssis et de deux silencieux, l'un sur l'aspiration du compresseur, l'autre sur l'échappement de la turbine.

Le problème de l'adoption de la turbine par l'automobile pourrait donc à présent être considéré comme résolu par l'emploi des machines volumétriques fonctionnant sans graissage ni frottement et pouvant, de ce fait, marcher à hautes températures. Les problèmes de mise au point qui restent à résoudre ne sont plus, estime M. Planche, « que des problèmes mineurs à la portée de tout ingénieur qualifié, et le jour où la turbine volumétrique, ainsi que ses accessoires, auront été travaillés comme l'ont été, depuis des dizaines d'années, les appareils centrifuges ou à piston, les résultats à en attendre en seront extrêmement augmentés ».

Fernand Lot.

LES THÉORIES DE L'AUDITION

2. La théorie de la résonance

Comme l'a rappelé M. Gribenski dans un premier article (1), Duverney avait pensé le premier, en 1683, que la réception des sons graves et aigus devait être, dans l'oreille, localisée aux extrémités opposées du limaçon. Discréditée et abandonnée au milieu du XIXe siècle, cette théorie fondée sur l'idée de résonance devait être bientôt reprise par Helmholtz, sous une forme plus précise et plus élaborée, plus audacieuse aussi. C'est à Helmholtz et aux auteurs qui ont cherché à perfectionner et à adapter son hypothèse que le présent article est consacré.

★

Bases de la théorie de la résonance. — A l'époque de Helmholtz, les progrès de l'acoustique avaient fait apparaître dans toute sa complexité le problème soulevé par la perception des sons, tout en apportant des éléments qui pouvaient permettre de tenter d'expliquer cette perception.

Mersenne avait déjà constaté qu'une corde vibrante produit des harmoniques, et que l'on peut entendre ceux-ci lorsque le son fondamental faiblit. Joseph Sauveur, en 1701, montra que la production de ces harmoniques est due à des vibrations partielles de la corde accompagnant la vibration principale, et que l'on entend tel ou tel harmonique en touchant la corde en un point situé à une fraction déterminée de sa longueur.

En 1822, dans sa *Théorie analytique de la chaleur*, Fourier établit que toute fonction peut être considérée, et d'une seule façon, comme la somme d'une série de fonctions sinusoïdales, différant par leurs amplitudes et leurs relations de phase, et dont les fréquences sont toutes multiples d'une même fréquence fondamentale; la série est convergente, et la fonction peut être représentée avec une approximation aussi grande qu'on le désire, à condition de prendre un nombre suffisant de termes. L'analyse d'une fonction périodique quelconque en série de Fourier est applicable aux vibrations sonores et rejoint l'expérience de Sauveur : la vibration d'une corde est une fonction périodique analysable en ses harmoniques, soit mathématiquement, soit physiquement.

Le physicien O. S. Ohm, connu surtout par la loi de l'électricité qui porte son nom, a donné en 1843 un prolongement psychophysiologique à cette théorie, en affirmant qu'une vibration sonore non sinusoïdale nous donne la sensation d'un son complexe, parce que nous y percevons les composantes sinusoïdales, les mêmes composantes que l'on trouverait par l'analyse de la vibration en série de Fourier. Si certaines composantes ne sont pas effectivement entendues isolément, c'est parce que leur amplitude est trop faible, mais l'aptitude à entendre les composantes sinusoïdales d'une vibration peut se développer par l'entraînement.

Dans une vibration sinusoïdale (son de diapason), nous ne percevons jamais de composantes; une telle vibration constitue un son pur.

La décomposition des vibrations sonores en vibrations sinusoïdales, qui est possible mathématiquement et physiquement, est aussi un fait psychologique : telle est la découverte d'Ohm, que Helmholtz allait s'efforcer d'expliquer; il disposait pour cela de données anatomiques nouvelles sur la structure de l'oreille interne, et d'un principe de physiologie nerveuse, celui des énergies spécifiques des nerfs.

Huschke, en 1835, avait découvert dans l'oreille interne

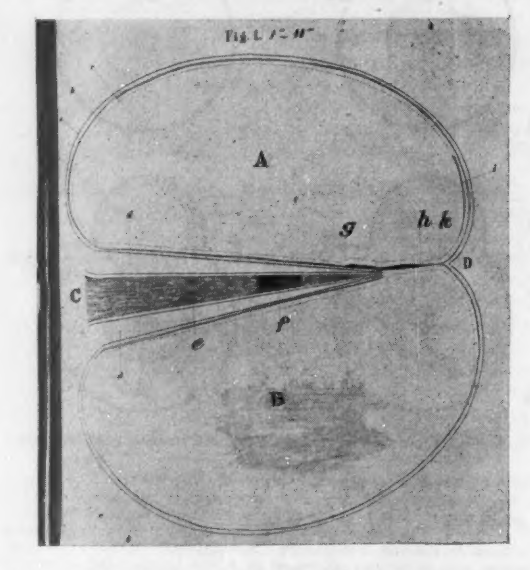


Fig. 1. — *Représentation théorique d'une section transversale du limaçon, d'après Corti (1851).*

A, rampe vestibulaire ; B, rampe tympanique ; C, point d'attache de la lame spirale osseuse sur l'axe du limaçon ; e, f, lame spirale osseuse ; g, h, k, lame spirale membraneuse. On note l'absence de la membrane de Reissner et par conséquent du canal cochléaire délimité par cette membrane et par la lame spirale membraneuse (comparer avec les figures 7 et 11).

(Bibliothèque du Muséum).

diverses structures, et notamment un organe porté par la partie membraneuse de la lame spirale, bientôt nommé papille spirale de Huschke (fig. 2). Cependant, c'est avec les *Recherches sur l'organe de l'ouïe des Mammifères*, publiées en 1851 par Alphonse Corti, que commence l'essor prodigieusement rapide des études d'anatomie microscopique de l'oreille, rendu possible par les progrès du microscope composé et des techniques histologiques. Corti voit encore le limaçon seulement divisé en deux rampes par la lame spirale osseuse et la lame spirale membraneuse (fig. 1); il donne la première description détaillée de la papille de Huschke (fig. 2), appelée depuis organe de Corti; il découvre notamment les piliers de Corti et les cellules ciliées externes, mais il dit ne pas avoir vu où prennent fin les fibres nerveuses auditives.

Kolliker, en 1852, suit ces fibres jusqu'aux piliers de Corti, où il croit qu'elles se terminent. Reissner, en 1854, découvre la membrane qui porte son nom et décrit le canal cochléaire (fig. 7). Schultze, en 1858, voit les fibres nerveuses se terminer en connexion avec des cellules ciliées dans le vestibule et les canaux semi-circulaires. Deiters, en 1860, décrit correctement la forme et la position des piliers de Corti, constituant les arcades de Corti; il découvre les cellules ciliées internes, et les cellules qui supportent les cellules ciliées (cellules de Deiters). En moins de dix ans, la structure microscopique de l'oreille interne avait été décrite, sinon tout à fait bien comprise.

D'autre part, dans son *Manuel de Physiologie* (1838), J. Müller avait exposé sa théorie des énergies spécifiques des nerfs; les sensations ne nous donnent pas une appréhension des propriétés des objets, mais elles sont l'effet produit sur notre esprit

1. Les théories de l'audition : 1. La naissance des théories, *La Nature*, n° 3228, avril 1954, p. 146.

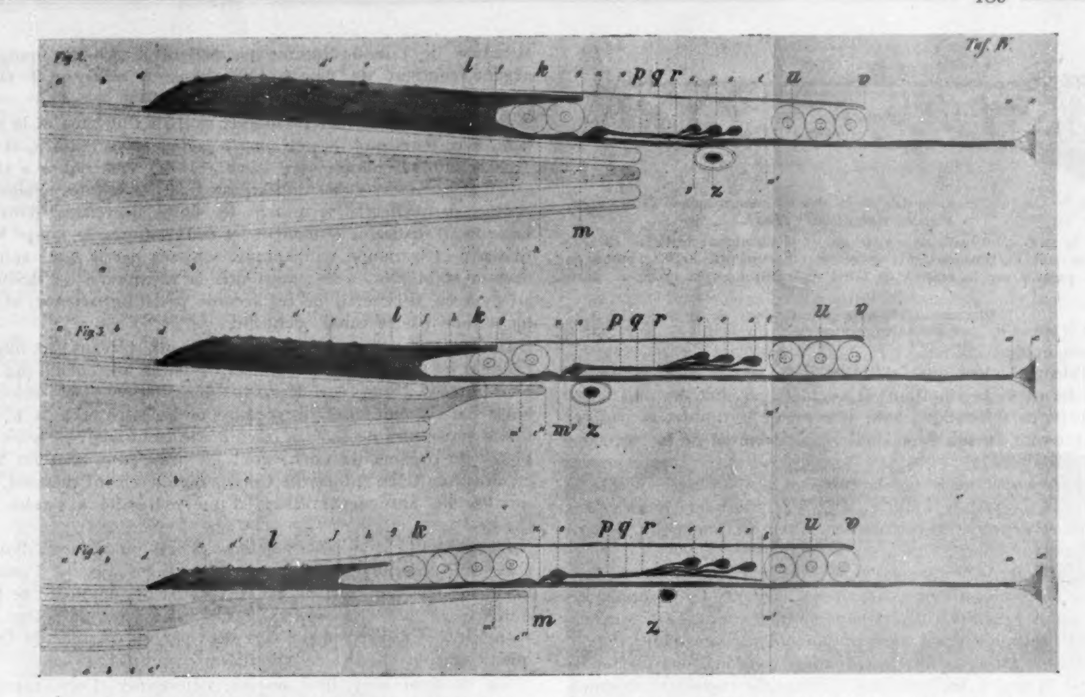


Fig. 2. — *« Figures idéales de tranches verticales de la lame spirale membraneuse », d'après Corti (1951).*
Fig. 2 (de Corti), vers la base du limaçon ; fig. 3, vers le milieu du limaçon ; fig. 4, vers l'apex du limaçon. Sur la membrane basilaire (m) reposent les organes qui forment la papille de Huschke : grosses cellules épithéliales (k, u) ; entre elles, les piliers de Corti (p, q, r) et les cellules de Corti (s). Au-dessus de cet ensemble, la membrane tectoriale (l, v) ; au-dessous de la membrane basilaire, section d'un vaisseau sanguin (z). *(Bibliothèque du Muséum).*

par l'activité des nerfs, eux-mêmes stimulés par des actions extérieures. Un même nerf, stimulé de diverses façons, donne toujours une sensation de même nature, et une même stimulation, agissant sur des nerfs différents, produit des sensations différentes; ainsi, la nature de la sensation est déterminée par l'énergie spécifique du nerf qui est en activité; Müller distinguait cinq énergies spécifiques de nerfs, correspondant aux cinq sens.

Théorème de Fourier, loi acoustique d'Ohm, structure de l'oreille interne, énergies spécifiques des nerfs, telles sont les bases sur lesquelles Helmholtz a édifié la théorie de la résonance, première des grandes théories de l'audition.

La théorie de Helmholtz (1863). — Médecin, physicien et physiologiste, Helmholtz avait déjà donné une *Optique physiologique* lorsqu'il publia, en 1863, son ouvrage sur l'audition : *Die Lehre von den Tonempfindungen*, traduit en français sous le titre de *Théorie physiologique de la Musique basée sur l'étude des sensations auditives.*

Helmholtz a d'abord reconnu que l'analyse en série de Fourier d'une vibration sonore n'est pas une opération purement théorique; les harmoniques ont une existence physique réelle, et il a pu s'en assurer au moyen de ses résonnateurs, sphères creuses ou tubes en cristal (fig. 3). Un résonnateur renforce, dans la vibration complexe, la composante harmonique à laquelle il est accordé et, en approchant du tympan le petit tuyau du résonnateur, on entend fortement cette composante seule. Il est ainsi possible de réaliser l'analyse physique d'un son, et d'y reconnaître la présence d'harmoniques trop faibles pour être entendus sans cet artifice.

Helmholtz a, d'autre part, complété les connaissances apportées par Ohm sur le pouvoir d'analyse de l'ouïe. On pensait

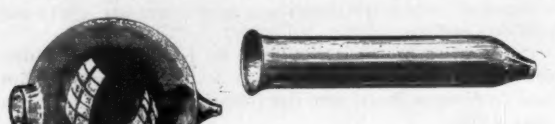


Fig. 3. — *Résonnateurs utilisés par Helmholtz pour faire entendre les composantes harmoniques d'un son.*

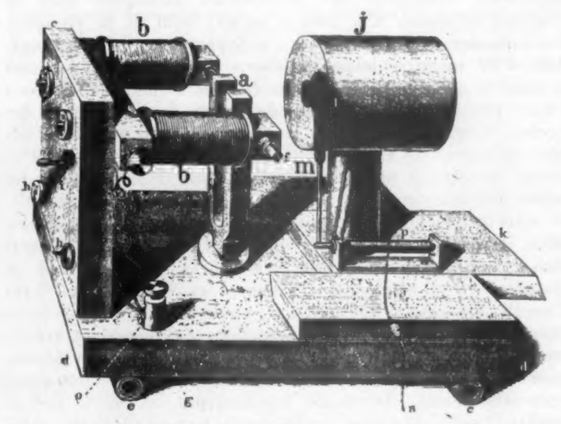


Fig. 4. — *Appareil utilisé par Helmholtz pour produire un son pur dans ses expériences de synthèse des timbres.*
a, diapason générateur du son pur ; b, électro-aimant qui entretient la vibration du diapason ; j, tuyau qui amplifie le son par résonance ; m, petit couvercle qui, en masquant plus ou moins l'ouverture, permet de modifier la phase du son de résonance.

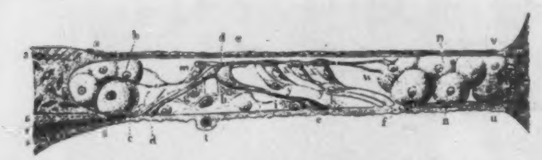


Fig. 5. — *Section transversale de la cloison membraneuse du limaçon, d'après Helmholtz (1863).*

Entre la membrane basilaire (au-dessous) et la membrane tectoriale (au-dessus) on voit l'organe de Corti et ses divers éléments. Représentation en grand progrès sur le schéma de Corti reproduit dans la figure 2. Grossissement : × 400.

(Helmholtz, *Théorie physiologique de la Musique*).

généralement alors que le timbre d'un son musical dépendait de la forme de la vibration; il semblait, en effet, ne plus rester que cette caractéristique pour interpréter le timbre, la hauteur et l'intensité du son dépendant respectivement de la fréquence et de l'amplitude.

Par ses expériences sur la synthèse des timbres, Helmholtz a cherché à savoir si le timbre d'un son, comme la forme d'une vibration, dépend des relations de phase des composantes harmoniques.

Au moyen de diapasons entretenus par des électroaimants à courants intermittents, et vibrant devant des résonnateurs (fig. 4), il produisait divers sons simples, dont les fréquences étaient multiples d'une même fréquence fondamentale; il pouvait ainsi former rapidement diverses combinaisons du fondamental avec des harmoniques d'intensités réglables, et reproduisait passablement diverses voyelles chantées, de même que les sons de plusieurs instruments de musique. Cet appareil permettait de modifier les phases des sons partiels émis par les résonnateurs, et Helmholtz découvrit ainsi que le timbre musical d'un son dépend du nombre et de l'intensité des composantes harmoniques, mais non de leurs relations de phase ni, par conséquent, de la forme de la vibration.

Tout se passe comme si l'oreille, au lieu de recevoir la vibration complexe comme telle, était impressionnée séparément par chacun des harmoniques; la vibration est donc toujours analysée, même quand les composantes sont trop faibles pour être entendues, et chaque timbre résulte d'une combinaison déterminée de ces stimulations distinctes.

C'est là une curieuse propriété de la fonction auditive, et Helmholtz, cherchant des phénomènes analogues dans le domaine physique, n'en trouve qu'un, celui de la vibration par influence ou par résonance : « Supposons, dit-il, les étouffoirs d'un piano soulevés, et faisons résonner énergiquement n'importe quel son contre la table d'harmonie; nous ferons vibrer par influence une série de cordes, à savoir toutes les cordes, et celles-là seulement, qui correspondent aux sons simples contenus dans le son donné. Ici, par conséquent, il s'opère, d'une manière purement mécanique, une décomposition des ondes aériennes analogue à celle qui se produit dans l'oreille. Si nous pouvions rattacher chacune des cordes d'un piano à une fibre nerveuse, de manière que celle-ci fût ébranlée, donnât lieu à une sensation, chaque fois que la corde entrerait en mouvement, il arriverait précisément ce qui se passe dans l'oreille, c'est-à-dire que tout son venant à rencontrer l'instrument éveillerait une série de sensations correspondant exactement aux vibrations pendulaires en lesquelles on peut décomposer le mouvement de l'air extérieur, et on percevrait ainsi, individuellement, chacun des harmoniques, comme le fait en réalité l'oreille. Dans ces conditions-là, les sensations des différents sons partiels correspondraient à différentes fibres nerveuses, et par conséquent se produiraient tout à fait isolément, indépendamment les unes des autres. »

Toute la théorie de la résonance est résumée dans ce passage; Helmholtz pense que les découvertes des micrographes sur la structure de l'oreille interne permettent d'admettre que cet organe contient un dispositif analogue à celui qu'il vient d'imaginer.

Dans l'oreille interne, Helmholtz connaît l'utricule et le saccule, avec leurs otolithes et leurs « taches acoustiques », et les canaux semi-circulaires avec leurs « crêtes acoustiques » et il sait que les taches et les crêtes possèdent des cellules ciliées au contact desquelles se terminent les fibres nerveuses; dans le limaçon, il distingue seulement les deux rampes, la rampe vestibulaire et la rampe tympanique, séparées par la lame spirale osseuse et membraneuse; bien que la membrane de Reissner ait déjà été décrite, il ne lui accorde pas d'importance, et ne mentionne pas le canal cochléaire.

De la cloison membraneuse, grâce aux travaux accomplis pendant les douze dernières années, il donne un schéma (fig. 5) bien plus exact que celui de Corti : dans l'étroit espace compris entre deux membranes, la membrane basilaire et la « membrane supérieure de Corti » (membrane tectoriale), se trouvent placés les organes de Corti, dont les principaux sont les arcs ou fibres de Corti (piliers de Corti), régulièrement disposés, au nombre de plusieurs milliers, d'une extrémité à l'autre du limaçon.

L'organe de Corti, pense Helmholtz, est un appareil destiné à recevoir les vibrations de la membrane basilaire, et à entrer lui-même en vibration; on ne sait pas encore comment se terminent les fibres nerveuses, mais elles sont disposées de manière à être directement ébranlées par les organes de Corti quand ceux-ci entrent en vibration.

On ne peut pas, dit-il encore, déterminer d'une manière exacte quelles sont les parties de l'oreille qui vibrent par influence, mais ce sont les piliers externes de Corti qui, d'après leur disposition, lui paraissent le plus aptes à exécuter des vibrations; leur hauteur croît de la base au sommet du limaçon, et le nombre de piliers comptés dans l'oreille humaine permet de penser qu'il y a environ 33 piliers par demi-ton, ce qui est suffisant pour expliquer la distinction de petites fractions de demi-ton; des intervalles plus petits encore que ceux de deux résonnateurs successifs peuvent même être distingués : si un son a une hauteur comprise entre celles de deux piliers consécutifs, il les fera vibrer l'un et l'autre, et la perception de la hauteur de ce son résultera de la comparaison inconsciente des intensités de vibration de ces deux piliers.

Un son, en effet, ne fait pas vibrer seulement le résonnateur qui est exactement accordé à sa fréquence, mais c'est celui-là qu'il fait vibrer avec la plus grande amplitude, et les résonnateurs situés de part et d'autre vibrent avec une amplitude qui s'amoindrit très vite; l'étude des trilles et des battements amène Helmholtz à penser que, pour un écart d'un demi-ton, l'amplitude de la vibration par influence doit être dix fois plus faible.

Pour compléter la théorie, Helmholtz admet encore que chaque résonnateur correspond à une fibre nerveuse déterminée, et que chaque fibre nerveuse, lorsqu'elle est stimulée, produit une sensation de hauteur définie; chacune des fibres du nerf auditif est donc liée spécifiquement à une certaine sensation de hauteur.

Helmholtz adopte ici, en lui donnant une beaucoup plus grande extension, la théorie des énergies spécifiques. Tandis que Müller admettait cinq énergies spécifiques de nerfs, Helmholtz est amené, pour le seul sens de l'ouïe, à supposer qu'il y a autant d'énergies spécifiques que de résonnateurs, c'est-à-dire plusieurs milliers.

Quant au timbre, il est expliqué, un peu comme la couleur dans la théorie trichromatique, par le fonctionnement simultané de diverses fibres, avec une intensité déterminée pour chacune d'elles.

Bien que les découvertes de Flourens sur les canaux semicirculaires fussent vieilles déjà de quarante ans, Helmholtz englobait toujours les récepteurs vestibulaires dans l'appareil

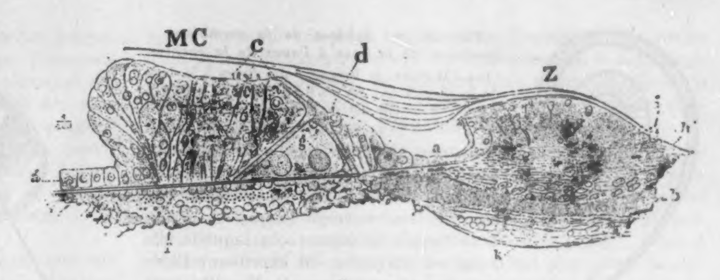


Fig. 6. — *Section transversale de l'organe de Corti, d'après Hensen (1863).*

Figure reprise par Helmholtz dans la 3e édition de son ouvrage (1870) ; MC à Z, membrane de Corti (recouvrante ou tectoriale) ; c, d, cellules ciliées.

auditif; il pensait que les taches et les crêtes « acoustiques » servaient à la perception des bruits.

Forme définitive de la théorie de Helmholtz. — L'année même où Helmholtz publiait son ouvrage, Hensen faisait connaître les résultats de ses recherches sur le limaçon; il décrivait notamment la structure de la membrane basilaire, montrait qu'elle est mince sous l'organe de Corti, qu'elle contient des fibres transversales, et que sa largeur augmente de la base à l'apex du limaçon. Hensen donnait de la structure de l'organe de Corti une représentation (fig. 6) beaucoup plus correcte que les précédentes, comme on peut s'en assurer en la comparant, d'une part, aux schémas de Corti et de Helmholtz, d'autre part à ceux donnés en 1884 par Retzius (fig. 7 et 9) et à une microphotographie récente (fig. 8).

Helmholtz fut vivement influencé par le travail de Hensen,

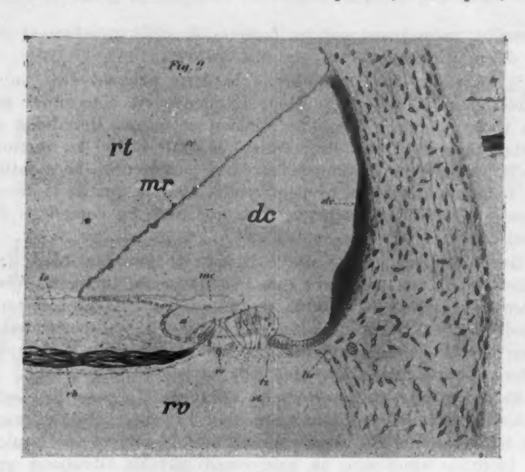


Fig. 7. — *Section transversale du canal cochléaire, d'après Retzius (1884).*

Le canal cochléaire (dc) est délimité en bas par la membrane basilaire portant l'organe de Corti, et en haut par la membrane de Reissner (mr). Au-dessous de la membrane basilaire, la rampe tympanique ; au-dessus de la membrane de Reissner, la rampe vestibulaire.

(Bibliothèque du Muséum).

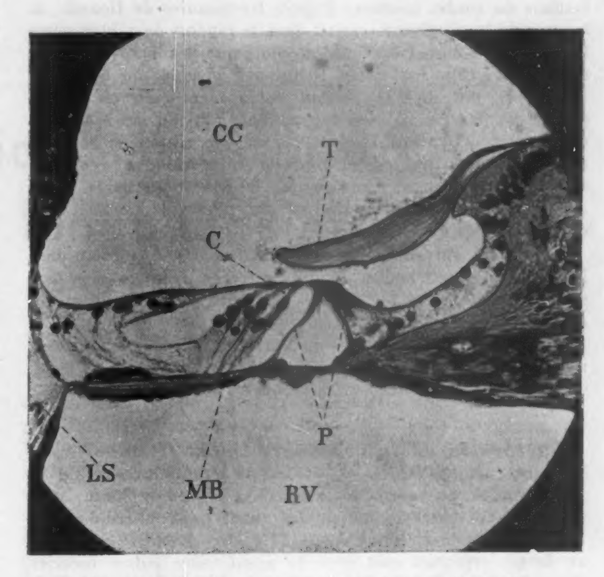


Fig. 8. — *Section transversale de l'organe de Corti.*

Préparation et microphotographie du Laboratoire d'Otologie expérimentale de l'École pratique des Hautes Études (1944) : CC, canal cochléaire ; RV, rampe vestibulaire ; MB, membrane basilaire ; T, membrane tectoriale ; LS, ligament spiral ; C, cellules ciliées ; P, piliers de Corti. × 450 environ.

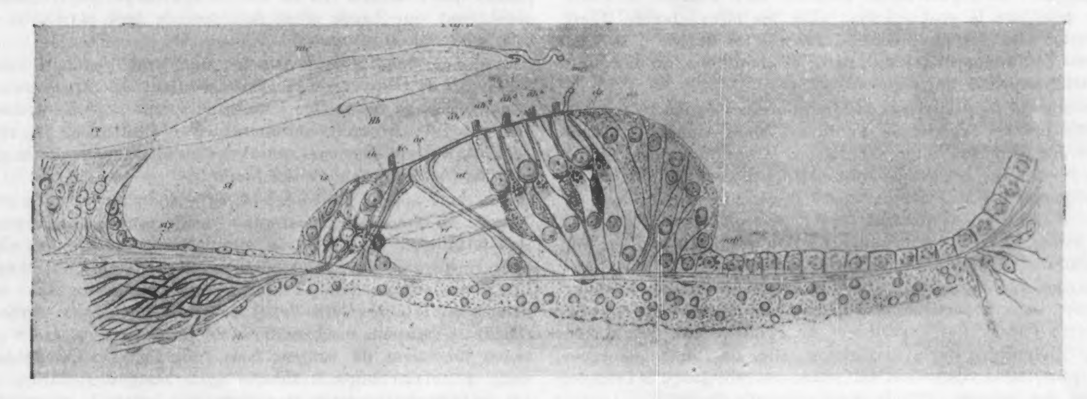


Fig. 9. — *Section transversale de la papille acoustique basilaire (organe de Corti), d'après Retzius (1884).*

On voit bien les cellules ciliées. Comparer notamment avec les figures 6 et 9, inversées par rapport à celle-ci.

(Bibliothèque du Muséum).

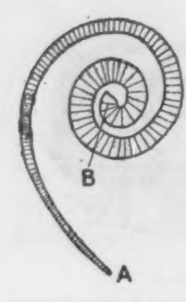


Fig. 10. — *Schéma de la membrane basilaire, de la base à l'apex de la cochlée.*
Chez l'Homme, la longueur des fibres à la base de la cochlée (A) est de 0,04 mm ; à l'apex (B) elle est de 0,36 mm.

puis par celui de Hasse (1867), montrant que les Oiseaux n'ont pas de piliers de Corti. Dans la troisième édition de son ouvrage (1870), il donna à sa théorie la forme sous laquelle elle nous est parvenue, en exprimant l'idée que les résonnateurs de l'oreille sont sans doute les fibres de la membrane basilaire plutôt que les piliers de Corti.

La membrane, ayant une tension beaucoup plus faible dans le sens de la longueur que dans le sens de la largeur, se comporte à peu près comme si ses fibres radiales étaient un système de cordes tendues; d'après les mesures de Hensen, la largeur de la membrane variait dans le rapport de 1 à 12 entre la base et le sommet du limaçon, alors que le rapport exact est moins élevé (fig. 10); selon Helmholtz, chaque son doit faire vibrer par influence la portion de la membrane où le son propre des fibres radiales se rapproche le plus du son excitateur et, de part et d'autre de cette région, les vibrations se communiquent aux parties voisines de la membrane avec une amplitude rapidement décroissante; les vibrations de la membrane basilaire se transmettraient aux piliers de Corti et, par eux, aux fibres nerveuses.

En résumé, suivant Helmholtz, l'analyse des sons a lieu dans l'oreille, et le nerf auditif conduit au cerveau un message déjà analysé, dans lequel les diverses hauteurs sont transmises par des fibres distinctes; la réception des diverses fréquences se fait en des points déterminés du limaçon grâce aux fibres de la membrane basilaire qui vibrent par résonance sous l'influence des sons auxquels elles sont accordées.

La théorie de la résonance après Helmholtz. — Pendant quelques années, la théorie de Helmholtz a connu un grand succès, en raison de sa clarté et de sa simplicité; mais ses trois hypothèses fondamentales : analyse périphérique, localisation, résonance, n'ont pas tardé à être vivement critiquées, et de ces critiques sont nées de nombreuses autres théories. Cependant, la théorie de la résonance a longtemps conservé une position très solide en face des théories rivales, dont les hypothèses de base n'étaient pas plus justifiées que celles de Helmholtz; elle tirait une grande force de l'argument anatomique, de cette régularité de structure dont l'organe de Corti offre peut-être le seul exemple chez les êtres vivants. C'est pourquoi bien des physiologistes lui ont été fidèles et se sont efforcés de développer les arguments de Helmholtz, ou de résoudre les problèmes qui restaient posés.

On a tenté de prouver la localisation des fréquences dans la cochlée par les expériences de traumatismes sonores. L'action prolongée d'un son intense provoque la surdité et des lésions dans la cochlée; ces lésions sont-elles localisées, en fonction de la fréquence du son traumatisant ? Les expériences faites à ce sujet, d'abord par Wittmaack (1907), puis par d'autres auteurs, ont donné un résultat négatif; l'action d'un son de hauteur déterminée ne donne pas de lésion étroitement localisée; toutefois, les sons aigus provoquent la dégénérescence de l'organe de Corti dans la partie basale du limaçon, les sons graves plutôt vers l'apex. Ces expériences ne confirmaient pas exactement l'hypothèse de la localisation, elles ne l'infirmaient pas non plus, et la discussion est restée ouverte jusqu'à l'emploi récent des moyens d'étude électrophysiologiques.

Les défenseurs de la théorie de Helmholtz ont dû faire porter leurs recherches surtout sur la possibilité de la résonance dans

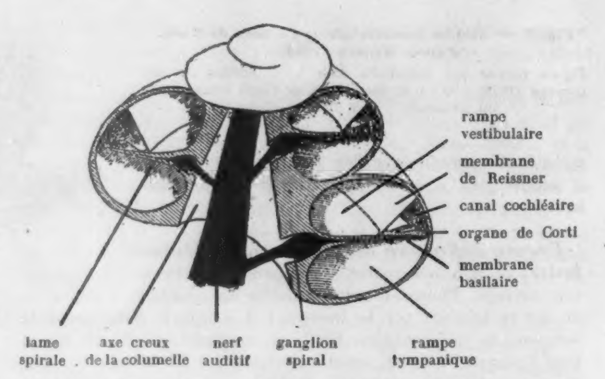


Fig. 11. — *Schéma de l'ensemble du limaçon.*
Les deux tours inférieurs sont supposés sectionnés suivant l'axe de la columelle. En hachures, les surfaces sectionnées ; en noir, nerfs et ganglions.

l'oreille, notamment sur les facteurs de différenciation et sur le degré d'indépendance des résonnateurs.

Si les fibres de la membrane basilaire peuvent être considérées comme des cordes, leur fréquence est déterminée par les trois facteurs : longueur, tension et masse. Helmholtz ne s'était préoccupé que du premier, et avait utilisé les mesures de Hensen; mais, d'après des mesures postérieures, la variation de longueur des fibres ne peut rendre compte que de la réception de deux à trois octaves, alors que nous en entendons dix environ.

Gray, en 1900, a fait intervenir pour la première fois le facteur tension, en montrant que l'épaisseur du ligament spiral décroît de la base au sommet du limaçon; si l'on suppose qu'il tend les fibres de la basilaire, sa variation d'épaisseur entraîne une variation de tension qui agit sur la fréquence propre des fibres dans le même sens que leur variation de longueur.

Enfin, la membrane basilaire supporte l'organe de Corti, dont les cellules sont plus grandes à l'apex; chaque segment de la membrane est associé à une double colonne de liquide, et la masse ainsi mise en mouvement par les vibrations croît dans le même sens que celle de l'organe de Corti, ce qui s'accorde avec la variation de longueur et de tension pour permettre de concevoir la différenciation des résonnateurs le long de la cochlée. Mais ces résonnateurs, étant inclus dans la membrane basilaire, ne sont pas indépendants les uns des autres. Helmholtz n'a d'ailleurs jamais prétendu qu'ils le fussent; il pensait que chacun d'eux est mis en activité par les fréquences constituant une bande d'un demi-ton de part et d'autre de celle à laquelle il est accordé.

Pourquoi donc percevons-nous une seule hauteur, alors qu'un son de fréquence déterminée, mettant en activité un certain nombre de résonnateurs voisins, devrait nous faire entendre plusieurs hauteurs simultanément ? Hostinsky, en 1879, pensait qu'il y a plusieurs sensations en effet, mais que la plus puissante seule devient consciente.

Sans faire appel à l'inconscient, Gray énonçait (1900) le *principe de la stimulation maximum :* seule provoque une sensation la fibre nerveuse dont la stimulation est maximum, c'est-à-dire celle qui correspond au maximum d'amplitude dans la vibration de la basilaire, les effets des autres fibres étant supprimés ou intégrés dans l'effet de celle-là; s'il y a plusieurs maxima — au sens mathématique du terme — nous avons plusieurs sensations de hauteur à la fois. Le principe de Gray sauva pour un temps la théorie de la résonance, encore que fût difficile à concevoir le moyen par lequel la stimulation maximum est seule efficace.

On peut se demander encore comment l'intensité des sons

est transmise par le nerf auditif, de façon à pouvoir être perçue. Helmholtz semblait admettre, implicitement, que l'intensité de l'influx nerveux augmente avec l'amplitude de vibration des résonnateurs cochléaires, c'est-à-dire avec l'intensité des sons parvenant à l'oreille. La loi du tout ou rien, qui s'est progressivement imposée, depuis la première idée de Gotch (1902) jusqu'aux expériences d'Adrian (1913-1914), s'opposait à cette manière de voir : la grandeur de l'influx nerveux ne dépend pas de l'intensité du stimulus, dès l'instant que celui-ci est supérieur au seuil.

Forbes et Gregg ont admis les premiers, en 1915, que sur les fibres du nerf auditif la fréquence des potentiels d'action augmente avec l'intensité du stimulus, ainsi qu'Adrian l'avait découvert pour les nerfs de la sensibilité générale.

Avec cette hypothèse, jointe au principe de la stimulation maximum, la théorie de la résonance atteignait sa forme la plus perfectionnée; la physiologie de l'audition ayant aujourd'hui quitté le domaine de la spéculation pure pour entrer dans celui de l'expérimentation, cette théorie peut nous apparaître dépassée, et simpliste l'analogie suggérée par Helmholtz entre l'appareil récepteur cochléaire et l'ensemble des cordes d'un piano; les expériences ont cependant montré le bien-fondé de certaines hypothèses, et, pendant trois quarts de siècle, la théorie de la résonance a eu le grand mérite de stimuler vivement les recherches sur l'audition.

La propriété de vibrer par résonance n'a pas seulement été attribuée à la membrane basilaire; déjà Hasse, en 1867, pensait que les cellules ciliées étaient stimulées par les mouvements de la tectoriale; cette conception a été reprise et précisée plus tard, notamment par Shambaugh (1907); celui-ci mettait en avant divers arguments (qui n'ont plus guère de crédit) pour affirmer que la membrane tectoriale est le siège de la résonance, mais, comme elle ne contient pas de formations qui puissent être interprétées comme des résonnateurs isolés, Shambaugh pensait qu'il s'agissait non d'une résonance localisée d'éléments spécifiques, mais d'une résonance de membrane, très étalée.

(à suivre).

André Gribenski,
Agrégé de l'Université.

La reconversion nécessaire du vignoble languedocien

Une reconversion du vignoble languedocien est-elle possible ? Est-elle souhaitable ? Telle est la question qui est actuellement posée avec acuité devant la crise de surproduction qui a marqué ces dernières années.

L'excédent annuel, jadis exceptionnel, tend à devenir un trait constant; la récolte de 1953 vient encore de battre tous les records de production. Que faire de cette énorme masse résiduelle constituée par des stocks sans cesse accrus, pratiquement invendables ? Seuls les vins de cru (Bordeaux, Bourgogne,...) sont assurés de débouchés sérieux à l'exportation. Mais le vin courant du Languedoc ne trouve pas preneur à l'étranger : de grosses difficultés ont été rencontrées récemment pour la livraison, à un prix cependant déficitaire, de quelques centaines de milliers d'hectolitres à l'Allemagne et à la Hongrie. Quant à la distillation, réclamée par beaucoup, elle est loin d'être une panacée dans les circonstances présentes; c'est seulement un remède momentané en cas de crise accidentelle (comme en 1934-1935, où la récolte avait atteint 94 000 000 hl, et où l'on en distilla au total 37 000 000). Mais ce remède ne saurait être considéré comme une ressource permanente : sans compter qu'il est économiquement absurde de détruire massivement et systématiquement des biens de consommation, le bilan financier de l'opération se traduit pour le budget de la nation par une perte respectable de milliards. On notera cependant que le contingent annuel d'achat d'alcool par l'État était encore récemment fixé pour le vin à 625 000 hl, et pour la betterave à 3 800 000 !

La France est déjà, et de loin, le premier pays du monde producteur et consommateur de vin. Il ne faut pas attendre, malgré de démagogiques exhortations, plus ou moins officielles, un accroissement sensible de la consommation intérieure. Un tel accroissement n'est d'ailleurs pas à souhaiter; les hygiénistes multiplient les avertissements au sujet du degré d'alcoolisation de la population française. Le pays est-il donc emprisonné dans ce dilemme : distillation du surplus de production, ou agitation sociale revendicatrice, génératrice de troubles graves ? L'intérêt général exige-t-il le maintien à un niveau élevé de la capacité de production du vignoble de masse ? N'est-il pas enfin temps d'envisager cette « reconversion » partielle du Midi languedocien dont il semble que ce soit la seule planche de salut ? Au delà des égoïsmes locaux, ne convient-il pas de prôner une politique à longue échéance ?

La monoculture de la vigne en Languedoc est un phénomène récent, dû à la reconstitution inconsidérée qui a suivi la crise phylloxérique. Vers le milieu du XIX[e] siècle, l'importance du vignoble languedocien était en effet inférieure à celle des Charentes; mais, tandis que dans cette dernière région, la vigne ne se conservait finalement que sur les sols calcaires de la « Champagne » en vue de la fabrication du cognac, dans le Midi méditerranéen l'introduction des plants américains s'accompagnait d'un essor extraordinaire (et imprudent, peut-on écrire aujourd'hui) du vignoble : la « marée viticole », se prolongeant jusqu'en 1930, malgré des avertissements sévères (1907, par exemple), submergeait peu à peu toute la plaine, de Carcassonne à Arles.

Auparavant, la vigne n'occupait guère que les collines et la garrigue [1]; la lutte contre le phylloxéra (on savait que l'insecte ne résiste pas à une submersion prolongée des plants) mena à l'occupation de toutes les zones basses irrigables; puis, on s'aperçut que les rendements augmentaient considérablement dans les régions irriguées. Si bien que les hauteurs devinrent un demi-désert, pendant que l' « océan de vignes » recouvrait la plaine, où il remplaçait la polyculture traditionnelle des pays méditerranéens. A partir de 1900, le Languedoc a dû importer les grains et fourrages qu'il ne produisait plus. Les moindres parcelles sont consacrées à la vigne, et René Dumont constate, dans ses remarquables *Voyages en France d'un agronome*, qu'à la sortie est de Béziers, la vigne

1. C'est du moins une notion classique. Mais des travaux récents tendraient à la réviser ou du moins à en restreindre la validité. Dans sa thèse, *La Cartographie agraire de la commune de Boissières (Vaunage)*, M. J. P. Barry, assistant à l'École nationale d'Agriculture de Montpellier, a établi que le vignoble de cette commune et de quelques autres communes de la Vaunage (à l'ouest de Nîmes) fut d'abord dans ~~la~~ plaine, comme l'établissent des chartes du IX[e] siècle, puis « monta » aux XVI[e] et XVII[e] siècles sur le plateau, d'où il redescendit aux XVIII[e] et XIX[e] siècles. Il serait intéressant d'étendre cette recherche à d'autres parties du domaine méditerranéen.

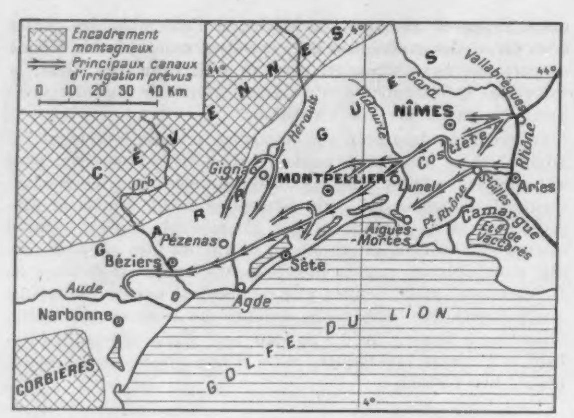


Fig. 1. — *Projet d'irrigation du Languedoc.*
(D'après P. Marres et P. Drouin).

touche la ville sans même l'intervalle d'un jardin. A lui seul, le département de l'Hérault possède 190 000 ha de vignobles, sur un total de 440 000 dans le Midi languedocien.

En même temps que sa répartition géographique, les caractères du vignoble se modifient, ainsi, d'ailleurs, que sa structure sociale. La recherche du rendement prime le souci de la qualité, les cépages de qualité (*Terret noir*) cèdent la place aux cépages courants (*Aramon*, etc.) et aux hybrides gros producteurs (*Alicante Bouschet*). L'ancienne démocratie viticole des petites gens travaillant chacun leur morceau de pente est de plus en plus battue en brèche par les gros propriétaires et les sociétés de type capitaliste. Ce sont souvent ces industriels de la vigne, à la tête d'entreprises de spéculation très différentes de l'antique « civilisation de la vigne » (Perrin), qui ont pu aménager progressivement la viticulture dans la plaine. Ils apparaissent ainsi comme les principaux responsables de l'évolution des soixante dernières années. Dans un certain sens, ils sont les créateurs de ce « paysage viticole unique au monde par son étendue presque sans déchirures » (Faucher). Mais paysage combien fragile, précisément à cause de cette évolution commerciale.

On a parlé plus haut des possibilités d'exportation. Des efforts raisonnés pourraient orienter la viticulture vers des débouchés intéressants, à condition de faire une étude approfondie des marchés : l'expérience montre que le vin n'est généralement pas considéré comme une boisson courante, en dehors de la France et des pays méditerranéens (eux-mêmes gros producteurs) ; il conviendrait de se tourner alors vers la production de jus de fruit, de raisin de table. En même temps, il faudrait améliorer la qualité par une remontée du vignoble sur les pentes. La plaine se consacrerait à des cultures plus rentables, peut-être à l'arboriculture qui, dans des conditions climatiques à peu près semblables, a si bien réussi à la Californie (et qui constituerait un facteur de santé, et non de déchéance alcoolique). Mais une telle révolution implique, comme le souligne R. Dumont, de reconsidérer totalement le problème.

D'abord, il faudrait pour beaucoup changer de façon de vivre, se réadapter matériellement et psychologiquement à une situation nouvelle; cela est certainement moins démagogique, plus courageux, que de se tourner vers l'État pour réclamer une subvention; c'est une solution héroïque pour certains, ne nous y trompons pas : D. Faucher a écrit, au sujet du renoncement imposé par la crise phylloxérique aux petits vignerons, des phrases toujours vraies : « La destruction de la vigne, ce n'est pas seulement la fin d'une richesse, cela signifie pour beaucoup la fin d'une manière de vivre... La vigne, par sa longévité, a quelque chose de quasi immuable; on y est attaché comme à sa maison, elle prend toute la vie du vigneron qui se consacre à sa culture... » Pour réduire les répercussions sociales d'un tel changement, il serait possible de le réaliser par tranches successives, ou même d'en limiter l'obligation aux moyennes et grosses propriétés.

L'ancienne polyculture méditerranéenne, associant céréales, arbres fruitiers, élevage des ovins à la culture de la vigne, avait atteint un équilibre intelligent; la monoculture actuelle ruine le sol, ne lui apporte aucun humus (la généralisation du machinisme fait disparaître le fumier de cheval; quant à l'élevage lui-même, il est inexistant). Le Languedoc est dans la même situation que l'Algérie, qui a consacré les meilleures terres du Tell à la vigne (avec pour seul débouché la métropole !) et rompu son équilibre alimentaire. Remonter la vigne sur les coteaux, varier les productions agricoles de la plaine, tel pourrait être, échelonné sur une quinzaine d'années, le plan de réorganisation économique du Languedoc.

Celui-ci repose avant tout sur l'irrigation : sans eau, le Midi méditerranéen français évoque la Grèce ou la Sicile. Et la vigne est, sans irrigation, la seule ressource qui est apparue rentable ou même rémunératrice dans l'économie « commercialisée » de la seconde moitié du XIXe siècle et de la première moitié du XXe. Mais, si l'on permet à l'eau nourricière d'irriguer le Bas-Languedoc, comme elle le fait en Roussillon et en Vaucluse, alors les conditions peuvent se transformer, une nouvelle richesse se créer.

La preuve en est fournie, timidement, par le succès de la reconversion opérée dans quelques exploitations du Gard, grâce au pompage de nappes d'eau souterraines alimentant les « roubines » ou canaux d'irrigation : les céréales et les cultures fourragères remplacent une bonne partie des champs de vigne; des cultures maraîchères donnent de beaux rendements (artichauts, choux-fleurs, pommes de terre,...); un élevage rationnel de bovins et de porcs s'est installé. Aussi se penche-t-on de nouveau sur le plan centenaire de l'irrigation du Languedoc, qui permettrait enfin de s'évader de la monoculture viticole. Une commission d'études, créée à la fin de 1951, a élaboré des plans détaillés, en liaison avec le Génie Rural et les laboratoires Neyrpic (Grenoble).

L'eau du Rhône, pompée en deux endroits, irriguerait les terrasses alluviales qui constituent le Languedoc (fig. 1) : une petite prise d'eau (7 m^3/s), située à Vallabrègues, au débouché du Gard, élèvera l'eau au niveau de 55 m, altitude moyenne de la terrasse de la Costière de Nîmes, qu'elle est destinée à fertiliser. L'autre prise d'eau en amont d'Arles, beaucoup plus importante (60 m^3/s; le débit du Rhône atteint 1 800 ici), conduira l'eau vers Saint-Gilles, Lunel, Montpellier, Pézenas et Béziers, après avoir détaché des antennes secondaires. Des canaux du même type sont prévus à partir de l'Hérault (Gignac) et de l'Orb. Techniquement, le projet est parfaitement réalisable; financièrement aussi, quand on songe aux milliards dépensés pour un prétendu « assainissement du marché du vin ... » Les industries elles-mêmes ne pourraient qu'être favorisées par un meilleur approvisionnement en eau douce; le port de Sète trouverait là un essor qui compenserait la baisse de son trafic vinicole.

Certes, l'irrigation pose, entre autres, un problème technique difficile, celui d'éviter le lessivage d'un sol déjà appauvri. On peut espérer qu'on en trouvera les moyens.

Sans vaine démagogie, il faut trouver une solution claire au marasme languedocien. Le plan que nous avons résumé a le mérite d'en proposer une, hardie peut-être, mais constructive, génératrice de progrès social et d'expansion économique. La crise prolongée de la viticulture du Midi impose, pour le bien public et en premier lieu pour le bien des intéressés eux-mêmes, une prise de conscience qui doit se terminer par l'enrichissement durable du Languedoc.

P. W.

La sérigraphie
L'impression sur étoffes

Les différents procédés d'impression sur papier ont été décrits dans cette revue au cours de ces dernières années. Il restait à examiner les impressions sur matières autres que le papier qui représentent, surtout pour les étoffes et les métaux, une très importante activité industrielle. A une exception près, celle de la sérigraphie ou impression au cadre de soie, les méthodes applicables aux diverses matières ne sont que des adaptations des procédés créés pour l'impression sur papier. Nous nous bornerons donc à rappeler succinctement le principe de chacun de ces procédés en renvoyant aux descriptions que nous en avons faites précédemment et en les complétant à l'occasion pour les diverses applications spéciales que nous avons en vue.

Il est d'usage de classer les procédés d'impression en trois catégories principales, suivant la disposition des éléments imprimants par rapport à la surface qui les supporte. On a ainsi les éléments en *relief* (typographie), les éléments en *creux* (taille-douce, héliogravure), les éléments *sans creux ni relief* (lithographie, offset). La sérigraphie, que nous décrirons plus loin à propos de l'impression sur étoffes qui en a été la première application, se place en dehors de cette classification. Elle est fort peu employée pour imprimer sur papier et carton mais elle trouve des applications assez importantes pour les décorations et inscriptions sur métaux, céramique, verre et matières plastiques, et même dans la nouvelle technique des circuits électriques imprimés (*La Nature*, n° 3114, 15 juin 1946, p. 181).

Typographie : Les éléments en relief sont tous au même niveau sur leur support; ils sont enduits d'une couche d'encre uniforme pour se décalquer sur le papier. Les éléments (lettres et signes) sont, soit mobiles et assemblés à la main, soit fondus mécaniquement, isolément (monotype) ou en lignes (linotype). Le papier peut se présenter, soit en feuilles pour tirage sur presses à platine, à arrêt de cylindre, ou à retiration, soit en bobines, pour tirage sur rotatives (Voir : *La Nature*, n° 3113, 1er juin 1946, p. 169, et n° 3115, 1er juillet 1946, p. 203).

Taille-douce : Le sujet à reproduire est gravé en creux sur une plaque de cuivre, soit directement à la main, soit par morsure d'un acide (eau forte, aquatinte, vernis mou) (*La Nature*, n° 3161, septembre 1948, p. 264).

Héliogravure : Les éléments en creux présentent des profondeurs différentes, selon l'épaisseur d'encre que l'on désire déposer; la gravure du cylindre imprimant s'effectue par des opérations photomécaniques (*La Nature*, n° 3165, janvier 1949, p. 13).

Lithographie : La surface imprimante, en pierre calcaire, reçoit le dessin à l'encre grasse et est mouillée d'eau sur tout le reste de la surface; le dessin seul retient l'encre d'imprimerie et la reporte sur le papier (*La Nature*, n° 3132, 15 mars 1947, p. 93).

Offset : Application industrielle du principe précédent. Le support imprimant est une feuille de métal, zinc ou aluminium, où le dessin est reporté par opérations photomécaniques. Fixée sur un cylindre, cette plaque abandonne son encre à un autre cylindre recouvert d'une toile caoutchoutée appelée « blanchet », qui reporte l'encre sur le papier (*La Nature*, n° 3136, 15 mai 1947, p. 161).

La sérigraphie

La sérigraphie, également appelée « méthode à l'écran de soie », utilise comme support imprimant un écran (ou cadre) qui maintient fortement tendue une étoffe de soie à bluter. Le sujet à imprimer est dessiné ou peint sur la soie, au crayon, à la plume ou au pinceau. Il s'agit ensuite de boucher les mailles du tissu à tous les endroits que le dessin ne protège pas; ce résultat s'obtient par étalement sur la surface de la soie d'une solution de colle à 50 pour 100. Quand l'écran est bien sec, les parties dessinées ou peintes sont lavées avec un solvant (benzine) qui libère les mailles de la soie correspondant à la surface devant être imprimée.

Le tirage s'effectue alors ainsi : le cadre de soie est appliqué sur la surface de la matière à imprimer et la couleur est étalée sur la soie, par pression, avec une raclette. Cette couleur traverse la soie au niveau des mailles débouchées pour venir imprimer la surface de la matière choisie, et se trouve arrêtée à tous les autres endroits, correspondant aux surfaces à ne pas imprimer. En préparant autant d'écrans que l'œuvre à reproduire comporte de couleurs, on réalisera des impressions polychromes. La sérigraphie représente, en somme, une méthode perfectionnée de l'impression au pochoir.

Nous venons de décrire ici le procédé dit *procédé direct*, utilisé pour la reproduction des œuvres comportant un grand nombre de couleurs; mais il existe deux autres manières de préparer l'écran de soie, qui sont le procédé de découpe et le procédé photochimique, lui-même subdivisé en méthode directe et méthode indirecte.

Le *procédé de découpe* consiste à décalquer ou à graver avec la pointe d'un canif ou un autre outil les contours du sujet à imprimer sur un papier spécial, transparent ou opaque, enduit d'une pellicule, soit de gomme-laque, soit d'acétate de cellulose. Les surfaces imprimantes sont découpées et enlevées, puis le papier est appliqué sous la soie pour être collé, ou à l'aide d'un fer à peine chaud avec protection d'une légère mousseline, soit au moyen d'un solvant. La pellicule chimique pénètre dans la soie et il suffit de retirer délicatement le papier qui servait de support à cette pellicule.

Le procédé de découpe, surtout employé aux U.S.A. et en Angleterre, offre une très bonne protection de l'écran de soie et permet, à l'impression, d'obtenir des sujets aux contours très nets.

Le *procédé photochimique* est basé sur la sensibilité que présente à la lumière la gélatine bichromatée et, d'une façon générale, la plupart des colloïdes additionnés d'un sel de bichromate. Plusieurs méthodes peuvent être employées, qui ne sont d'ailleurs que des variantes. La méthode photochimique *directe* consiste à verser la solution sensible sur l'écran de soie qui est ensuite séché à l'obscurité. La trame est alors placée sous châssis au contact du positif à reproduire, insolée, puis développée à l'eau tiède; la gélatine insolée, demeurant insoluble, forme écran. La méthode *indirecte* ne diffère de la précédente que par l'emploi d'un papier-support auxiliaire analogue au papier au charbon employé en héliogravure. Ce papier, sensibilisé au bichromate, insolé puis développé, est ensuite appliqué par pression sur l'écran de soie.

La méthode à la feuille de gélatine utilise une feuille mince de ce produit, qui est fixée par pression, à l'état humide, sur l'écran de soie, la suite des opérations s'effectuant comme ci-dessus.

Le choix d'encres appropriées à la surface à imprimer, de même que la qualité des soies de l'écran permettent de nombreuses combinaisons. Il est possible, par exemple, d'obtenir des dégradés en versant plusieurs encres côte à côte sur l'écran, le coup de raclette venant les fondre en un ensemble harmonieux. On peut également obtenir des demi-teintes, comme en simili-gravure.

Convenant particulièrement bien pour les petits tirages, la sérigraphie permet d'imprimer une grande épaisseur d'encre ou de peinture et offre, de surcroît, l'avantage de pouvoir s'adapter non seulement aux surfaces planes et lisses, mais encore à des objets présentant une surface rugueuse. De là son emploi usuel pour les impressions sur métal, sur céramique et sur verre, entre autres méthodes que nous décrirons pour ces différentes matières.

L'impression sur étoffes

Le succès des robes imprimées suffit à révéler l'importance d'une industrie qui recouvre annuellement de dessins multicolores un nombre imposant de kilomètres d'étoffes. Toutes sortes de tissus, pour l'ameublement comme pour l'habillement, peuvent être imprimés : coton, laine, soie artificielle, lin, jute, chanvre. On réalise de belles impressions sur percale, mousseline, cretonne, velours, reps, etc.

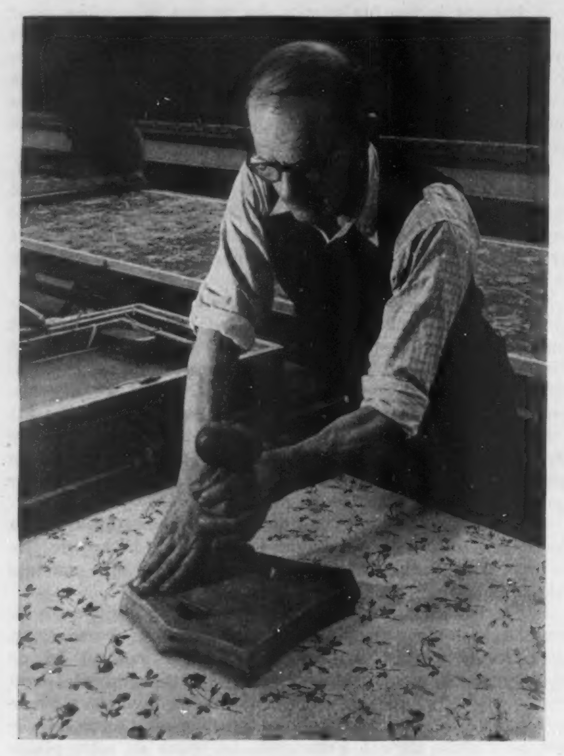


Fig. 1. — *Impression des étoffes à la planche.*
La planche est munie de deux encoches qui servent à la guider et à la maintenir sur le tissu ; l'ouvrier frappe la planche avec un maillet.
(*Photo* M. Lombard, Lyon).

En règle générale, ce sont les imprimeurs sur tissus qui préparent eux-mêmes leurs couleurs à partir de colorants fabriqués par des maisons spécialisées. Les formules de préparation sont fort nombreuses, devant être adaptées à la nature de l'étoffe, à l'effet coloré recherché et aussi aux exigences de solidité de l'article terminé : résistance du coloris au lavage, au soleil, etc. Dans un appareil spécial appelé en terme de métier « cuisine à couleurs », l'imprimeur sur tissus assure le mélange du colorant avec un épaississant (amidon, dextrine, fécule ou gomme adragante) et divers autres ingrédients destinés à assurer le fixage.



Fig. 2. — *Préparation du cadre de soie pour impression à la lyonnaise.*
(*Photo* Blanc et Demilly, Lyon).

Il existe plusieurs méthodes d'impression sur étoffes. Nous examinerons les impressions à la planche, à la lyonnaise (sérigraphie) et au rouleau.

Impression à la planche. — Cette méthode d'impression artisanale (fig. 1) ne diffère pas de l'impression à la planche pour les papiers peints (voir *La Nature*, n° 3210, octobre 1952, p. 312).

On doit noter une tentative de mécanisation avec l'emploi de la « perrotine », machine dont le nom est tiré de celui de son inventeur, l'ingénieur Perrot. Elle permet d'imprimer trois couleurs à la fois. Le tissu est guidé par un feutre sans fin, mais, circulant d'un mouvement non continu, il reçoit l'impression durant ses temps d'arrêt par des planchettes gravées dotées d'un mouvement alternatif. Les planchettes viennent s'appliquer sur lui après avoir été imprégnées de couleur par un feutre qui s'en imbibe à l'aide de brosses. Le tissu est maintenu par trois surfaces planes d'un bloc de métal qui sont disposées vis-à-vis des planchettes gravées et sont de même largeur que celle du tissu à imprimer.

Impression à la lyonnaise. — C'est une application de la sérigraphie, avec par conséquent emploi d'un cadre de soie. Nous venons d'exposer ci-dessus le principe de cette méthode.

L'impression sérigraphique s'effectue sur une très longue table en bois ou en ciment pouvant atteindre 100 m de long et recouverte d'un feutre doublé d'une toile cirée. Le tissu à imprimer est fortement tendu puis le cadre de soie est appliqué de place en place pour impression avec une roulette du type « à deux mains » (fig. 2 et 3).

Des machines ont été réalisées pour permettre de mécaniser partiellement l'impression à la lyonnaise, telle la machine anglaise Glida; cette machine se déplace sur des rails et le repérage de ses arrêts est obtenu au moyen de butées. Le cadre de soie est soulevé, déplacé et reposé automatiquement à chaque emplacement d'impression. Les opérations de fixage par



Fig. 3. — *Impression des étoffes au cadre de soie, dite à la lyonnaise.*
Le cadre est disposé sur une sorte de chariot qui le déplace automatiquement ; devant le bras de l'ouvrier, on voit la terrine contenant la couleur.
(*Photo* Blanc et Demilly, Lyon.

vaporisation et de lavage ont lieu après impression sérigraphique comme dans les autres procédés.

Impression au rouleau. — C'est la méthode industrielle des impressions sur étoffes; elle a été introduite en France à la fin du XVIIIe siècle par Oberkampf qui la mit pour la première fois en application dans une usine de Jouy-en-Josas (toile de Jouy). Aujourd'hui, de puissantes machines impriment les tissus par la méthode des rouleaux (fig. 4). L'agencement du mécanisme varie selon que l'on réalise des impressions en une seule ou en plusieurs couleurs.

Schématiquement, une machine à imprimer au rouleau en une seule couleur comporte : un tambour horizontal; un rouleau en cuivre rouge ou en laiton sur lequel a été gravé en creux le motif à imprimer à l'aide d'une molette en acier portant ce motif en relief; un cylindre-presseur en bois, monté sous le rouleau imprimant, alimente celui-ci en couleur de façon permanente après s'en être imprégné en tournant continuellement dans un bac contenant la couleur.

Afin que la matière colorante ne reste, avant impression, que dans les creux du rouleau, celui-ci est fortement balayé par une *racle* en acier à mouvement mécanique de va-et-vient. On retrouve ici une des caractéristiques de l'impression en héliogravure.

La gravure des rouleaux d'impression sur étoffes est obtenue, soit avec un tour à moleter assurant la pression de la molette d'acier gravée en relief sur le rouleau de matière plus tendre, cuivre ou laiton, soit avec un pantographe qui est, on le sait, une machine destinée à reproduire mécaniquement les dessins à échelle différente. A l'aide du pantographe, le sujet initial a été gravé en creux sur une planche de zinc et l'appareil, grâce à ses pointes de diamant, reporte ce sujet sur le rouleau préalablement enduit d'une légère couche de bitume de Judée.

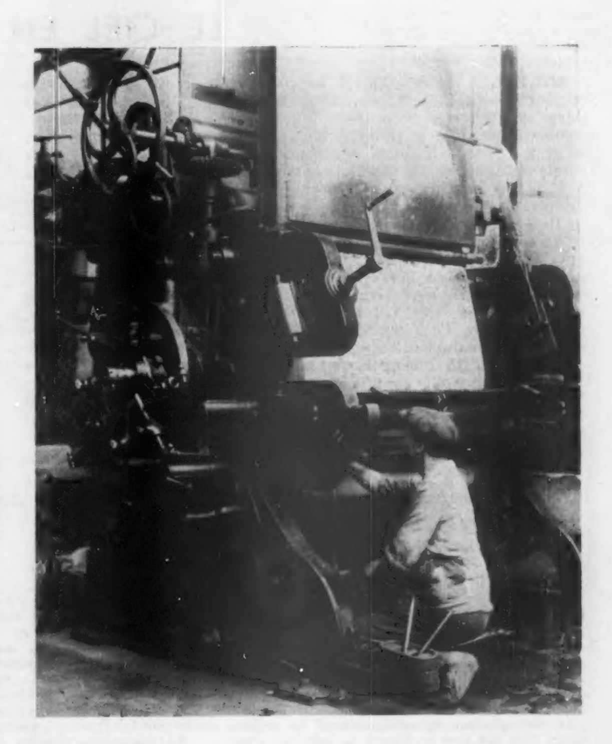


Fig. 4. — *Impression des étoffes au rouleau.*
(*Photo* Blanc et Demilly).

Trempé ensuite dans un bain d'acide, le rouleau porte une gravure à l'eau forte. Les teintes accentuées sont obtenues avec les parties les plus creuses du rouleau tandis que les demi-teintes sont réalisées par de légers picots, multitude de petits points gravés en creux sur la surface du métal.

Pour être imprimé, le tissu passe entre le rouleau portant la gravure et le tambour horizontal. Afin de présenter le degré d'élasticité nécessaire, il est accolé, au moment de son passage entre rouleau et tambour, à un feutre sans fin par l'intermédiaire d'une toile circulant également sans fin, appelée « doublier », qui a pour fonction de protéger le feutre du maculage.

Pour les impressions en plusieurs couleurs, le tambour de la machine présente un diamètre beaucoup plus important et porte autour de lui autant de rouleaux gravés en creux que l'impression comporte de couleurs différentes. On utilise ainsi des machines imprimant l'étoffe en quatre et six couleurs à la fois et il existe même des mécanismes portant jusqu'à seize rouleaux pour imprimer seize couleurs.

Fixage et apprêt. — Dès qu'il vient d'être imprimé, le tissu parcourt un chemin en accordéon sur un dispositif de plaques chauffées à la vapeur qui assurent un rapide séchage des couleurs.

L'opération du *fixage* par « vaporisage », qui a lieu ensuite, consiste à imprégner le tissu de vapeur humide pour lui permettre de retrouver son élasticité et sa souplesse d'avant impression. L'excès de matière colorante qui n'a pu être fixé est éliminé par l'épreuve du *dégommage*.

Enfin, le tissu est apprêté (opération de l'apprêt) sur des rames de bois ou d'acier, à l'aide d'une solution à base de fécule, gomme adragante et sels, ce qui lui donne sa tenue définitive.

Impression des toiles cirées. — Les toiles cirées sont le plus généralement imprimées avec des machines à rouleaux dont les empreintes creuses sont moins accentuées que celles des rouleaux pour impression sur tissus, la toile cirée n'absorbant pas la couleur autant que l'étoffe.

Une autre méthode, moins courante, d'impression des toiles cirées, mais qui donne d'excellents résultats, consiste à utiliser des rouleaux en acier moulés dans du plâtre, avec des motifs découpés imprimant en relief. Ces motifs, plaqués sur la couche circulaire de plâtre, ont été réalisés en alliages de plomb, étain et régule. Un système encreur alimente en permanence les parties imprimantes avec la couleur à l'huile, de consistance très épaisse.

Il faut bien entendu préparer autant de rouleaux qu'il y a de couleurs différentes à imprimer sur la toile cirée.

*
* *

La sérigraphie et les autres procédés que nous avons rappelés au début de cet exposé sont utilisés, avec des variantes, pour l'impression sur les autres matières que le papier et les étoffes : métaux et papiers métallisés, matières plastiques, céramique, émail, verre. Nous examinerons ces diverses applications dans un prochain article.

FERNAND DE LABORDERIE.

LE CIEL EN JUIN 1954

SOLEIL : du 1er au 21 sa déclinaison croît de $+22°1'$ à $+23°27'$, puis décroît jusqu'à $+23°12'$ le 30 ; la durée du jour passe de 15^h49^m le 1er à 16^h4^m le 30, maximum le 21, soit 16^h8^m ; diamètre apparent le 1er = 31′35″,5, le 30 = 31′30″,8 ; *solstice d'été* le 21 à 22^h54^m : *le Soleil entre dans le Signe du Cancer* ; *éclipse totale de Soleil* le 30, *visible comme partielle à Paris*, de $11^h21^m,8$ à $13^h55^m,9$, maximum à $12^h40^m,5$, grandeur de l'éclipse 0,707. — **LUNE** : Phases : N. L. le 1er à 4^h3^m, P. Q. le 8 à 9^h13^m, P. L. le 16 à 12^h6^m, D. Q. le 23 à 19^h46^m, N. L. le 30 à 12^h26^m ; *apogée* le 11 à 15^h, diamètre app. 29′30″ ; *périgée* le 27 à 10^h, diamètre app. 32′40″. Principales conjonctions : avec **Jupiter** le 2 à 16^h, à 1°15′ S., et avec **Mercure** à 21^h, à 1°6′ N. ; avec **Vénus** le 3 à 11^h, à 1°32′ N. ; avec **Uranus** le 4 à 1^h, à 1°2′ N. ; avec **Neptune** le 11 à 16^h, à 7°23′ N. ; avec **Saturne** le 12 à 11^h, à 7°57′ N. ; avec **Mars** le 17 à 8^h, à 2°56′ S. ; avec **Jupiter** le 30 à 13^h, à 0°38′ S. Occultation de e *Lion* (mag. 5,1), immersion à $22^h26^m,8$. — **PLANÈTES** : **Mercure,** astre du soir, se couche 1^h57^m après le Soleil le 6 ; plus grande élongation le 9, à 24° est du Soleil ; **Vénus,** magnifique étoile du soir, se couche 2^h27^m après le Soleil le 6 ; **Mars,** dans le *Sagittaire*, *en opposition avec le Soleil le 24 à* 17^h, diamètre app. 21″8, visible toute la nuit ; **Jupiter,** inobservable, en conjonction avec le Soleil le 30 ; **Saturne,** dans la *Vierge*, se couche à 1^h31^m le 18, diamètre polaire app. 16″,2, anneau : gr. axe 40″,9, petit axe 11″7 ; **Uranus,** dans les *Gémeaux*, peu observable le soir, se couche le 30 à 20^h49^m ; **Neptune,** dans la *Vierge*, observable le soir, se couche le 30 à 0^h19^m, position : 13^h29^m et $-7°27'$, diamètre app. 2″,4. — **ÉTOILES VARIABLES** : Minima observables d'*Algol* ($2^m,3$-$3^m,5$) le 4 à $3^h,5$, le 27 à $2^h,0$; minima de β *Lyre* ($3^m,4$-$4^m,3$) le 12 à 13^h, le 25 à $11^h,4$; maxima : de R *Bouvier* ($6^m,0$-$13^m,0$) le 25, de S *Hercule* ($5^m,9$-$13^m,1$) le 26. — **ÉTOILE POLAIRE** : Passage inf. au méridien de Paris : le 10 à $20^h27^m4^s$, le 20 à $19^h47^m57^s$, le 30 à $19^h8^m51^s$.

Phénomènes remarquables — **L'éclipse de Soleil** le 30, totale notamment pour le Sud de la Suède et de la Norvège, **partielle en France** : pour **Bordeaux,** de $11^h22^m,0$ à $13^h54^m,0$, maximum à $12^h39^m,6$; pour **Lyon,** de $11^h30^m,1$ à $14^h2^m,6$, maximum à $12^h48^m,5$; pour **Marseille,** de $11^h35^m,2$ à $14^h5^m,6$, maximum à $12^h52^m,8$; pour **Strasbourg,** de $11^h31^m,0$ à $14^h3^m,8$, maximum à $12^h49^m,6$; pour **Toulouse,** de $11^h27^m,6$ à $13^h58^m,4$, maximum à $12^h44^m,9$; pour **Alger,** de $11^h46^m,8$ à $14^h3^m,5$, maximum à $12^h57^m,5$.

(Heures données en **Temps universel** ; tenir compte des modifications introduites par l'heure en usage).

G. FOURNIER.

LES LIVRES NOUVEAUX

L'homme primitif américain, par F. C. HIBBEN. 1 vol. 14×23, 315 p., 16 planches hors texte. Payot, Paris, 1953. Prix : 900 F.

Le professeur à l'Université de New Mexico, allant plus loin que la plupart de ses devanciers, estime que l'homme occupe l'Amérique depuis 40 000 ans. A cette époque, il ne pouvait être question de navigation et le peuplement s'est fait par le détroit de Behring, alors à sec ; il n'examine pas la possibilité d'autres invasions ultérieures. Mais l'intérêt du livre n'est pas là ; il est dans la description très vivante des différents peuples dont on a retrouvé les vestiges sur le continent américain : anciens esquimaux, pêcheurs de saumons, ramasseurs, « faiseurs de paniers », constructeurs d'habitations compartimentées, habitants du désert, bâtisseurs de tumulus, etc., et sur les grandes conséquences qu'ont dû avoir des innovations comme la culture du maïs, la chasse au bison, dans le mode de vie que maint vestige, maint ustensile, permettent de reconstituer. Les Mayas et leurs magnifiques constructions, leurs émigrations vers le nord, leur ruine finale demeurée quelque peu mystérieuse, nourrissent un des chapitres les plus intéressants.

Éléments de méthode sociologique, par Robert KING MERTON. 1 vol. 14×20, 250 p. Plon, Paris 1953. Prix : 600 F.

L'auteur part du fait que la sociologie se trouve encore dans l'état où se trouvaient, il y a trois siècles, la physique ou la physiologie.

Elle ne peut donc prendre modèle sur l'état actuel de ces sciences et elle ne peut se dégager encore d'un certain empirisme. La recherche ne doit pas se borner à contrôler ou vérifier des hypothèses ; elle a un rôle plus actif : elle peut conduire à modifier, à refondre la théorie, à en susciter même une nouvelle. L'analyse fonctionnelle est examinée dans ses principaux aspects, après un effort pour soigneusement définir la notion de fonction. Certains postulats de la sociologie contemporaine sont sévèrement critiqués.

Économie alimentaire du globe, par Michel Cépède et Maurice Lengellé. 1 vol. in-8°, 654 p., 72 fig., 9 pl. en couleurs. Librairie de Médicis, Paris, 1953. Prix : 1 890 F.

Le problème de l'alimentation de tous les hommes s'est posé avec plus d'acuité pendant et depuis la dernière guerre mondiale. Pour empêcher les famines, remédier aux sous-nutritions, des études ont été faites, des conférences réunies, pour aboutir à l'enquête de la F.A.O., prélude à des plans futurs. Les auteurs, dont l'un est professeur à l'Institut Agronomique, exposent copieusement leurs idées sur une si complexe question. On y trouve peu de données précises sur la physiologie de la nutrition, ni sur la géographie agricole, ni sur les techniques et leurs rendements, mais beaucoup de statistiques étendues d'une précision indéterminée et des conjectures économiques quelque peu théoriques. Les peuples s'uniront pour se libérer du besoin ; les pourvus investiront leurs richesses pour améliorer l'alimentation des mal nourris ; ils leur donneront l'aide technique pour augmenter leurs ressources, les répartir, les stocker sans pertes, en commençant par l'Europe grâce à une politique du don substituée à l'économie mercantile. Mais qui est assez savant pour savoir ce qu'il convient de faire, assez puissant pour l'imposer, assez pourvu pour nourrir le globe ?

Mystère indien, par Rayliane de la Falaise et Henrique Cordelier. 1 vol. in-8°, 236 p., 8 pl. Plon, Paris, 1953. Prix : 570 F.

Elle, grande voyageuse en Amérique latine ; lui, né au Brésil et américaniste fervent, ont rassemblé leurs souvenirs ; elle a écrit ces récits indigènes pleins de charmes après qu'il a initié le lecteur à la magie et aux croyances des Indiens, et on pénètre ainsi dans ce mystère ancien, si lointain.

Bibliographie des langues aymara et kicua, par Paul Rivet et Georges de Créqui-Montfort. Vol. III (1916-1940). 1 vol. in-4°, 783 p., fig. Institut d'Ethnologie, Musée de l'Homme, Paris, 1953. Prix : 5 300 F.

Voici la fin du monument élevé par les deux grands américanistes français aux langues indiennes de l'Amérique du Sud. Il compte plus de 2 000 pages. Vrai travail de Bénédictins, il relève toutes les publications en ces langues ou les concernant, avec leurs titres complets et précis : catéchismes et livres saints, imprimés de propagande, récits, poésies, chansons, observations linguistiques et ethnographiques. C'est et cela restera la base et la référence de toute nouvelle recherche sur les indigènes, leurs langues, leurs civilisations, leurs contacts avec les Blancs depuis le XVIe siècle.

L'univers en marche, par Louis Jacot. 2e édition. 1 vol. in-8°, 364 p. Nouvelles Éditions latines, Paris, 1952. Prix : 1 200 F.

C'est un livre bien difficile à résumer et à juger. L'auteur y parle de tout, des astres, de la Terre, de la matière, de la vie, de la pensée, de l'âme et de Dieu, faisant défiler tout cela devant un fictif jeune homme. Partout il voit des forces en marche, admettant jusqu'aux plus singulières, les transmissions de pensée, les arts divinatoires et ne doutant pas de tout expliquer des mystères de l'univers, de la vie et de l'homme...

La dégustation des vins, par Norbert Got. 1 vol. in-8°, 157 p., 2 pl. Chez l'auteur, 82, avenue de Gaulle, Perpignan, 1953. Prix : 580 F.

Les progrès de l'analyse chimique n'ont jamais suffi à tout connaître d'un vin et la dégustation est toujours nécessaire pour l'apprécier. L'auteur qui s'y connaît rappelle qu'elle met en jeu des sensations, exige la finesse de l'odorat et du goût, mais qu'elle est aussi une technique aux règles strictes. Il en décrit la pratique et essaie d'en tirer une classification des vins ordinaires, fins et spéciaux.

Docteurs à mains nues. Les chiropractors, par Maxime Briant. 1 vol. in-16, 158 p. Nouvelles éditions latines, Paris, 1953.

Les « chiropractors » ne sont pas des médecins ; ce sont des gens, certains diplômés par une école spécialisée d'Amérique, qui prétendent soigner, soulager ou guérir maintes douleurs par la pression des mains sur des vertèbres ou des articulations déplacées. Ils seraient seulement 12 en France, mais 50 000 en Amérique du Nord. Qu'en faut-il penser ? Sont-ils des artisans en marge de la médecine, des sortes de masseurs qu'on pourrait utiliser après apprentissage ? Peut-on leur confier des patients ? Ou bien faut-il les traiter en charlatans, en rebouteurs et leur interdire toute pratique ? Question délicate que l'auteur pose et plaide, peut-être sans l'aborder au fond.

Un demi-siècle de progrès dans les travaux publics et le bâtiment. In-4°, 211 p., fig. *Le Moniteur des Travaux publics*, Paris, 1953. Prix : 1 250 F.

Pour fêter le cinquantenaire de sa fondation, *Le Moniteur des Travaux publics* a voulu présenter le tableau d'ensemble des progrès accomplis en ce demi-siècle. Il s'est adressé aux ingénieurs, aux architectes, aux techniciens les plus éminents de France et en a obtenu une remarquable série d'études sur les multiples aspects de la profession : matériaux de construction, grands barrages et usines hydroélectriques, ponts, voies ferrées, routes, ports et canaux, construction et urbanisme, équipement en eau, chauffage, éclairage, rôle de l'architecte, et urbanisme, financement de la construction et du logement, étude scientifique des matériaux, organisation professionnelle, pour finir par l'énumération des principales réalisations des entreprises françaises dans les cinq parties du monde. C'est un bilan d'où se dégage une telle impression d'activité et de grandeur qu'on comprend la vitalité et le développement du *Moniteur* qui informe, documente, appuie un tel ensemble d'entreprises.

Histoire de la médecine vétérinaire, par André SENET. 1 vol. de la collection Que sais-je ? 117 p., 4 fig. Presses Universitaires de France, Paris, 1953. Prix : 150 F.

On retrouve, amplifiés jusqu'aux dimensions d'un petit livre, les excellents exposés faits par l'auteur à l'Heure de culture française de la Radiodiffusion. Dans les civilisations les plus antiques, l'art vétérinaire est d'abord confondu avec la médecine humaine ; il s'y ajoute une bonne dose de magie. Avec les Grecs apparaît l'hippiatre ; les vétérinaires romains s'intéressent aussi au bétail. Les Arabes sont d'admirables connaisseurs du cheval. A Lyon, en 1792, Bourgelat crée la première école vétérinaire. Depuis le XIXe siècle, l'art vétérinaire devient solidaire des progrès de la médecine et de la biologie, mais il leur rend aussi des services non négligeables, bien mis ici en lumière.

Planches d'anatomie humaine. Maloine, Paris, 1953. Prix : 900 F.

15 planches en couleurs donnent un aperçu schématique de l'homme, de son squelette, de ses organes et de ses appareils.

ERRATUM

Dans l'article de G. Deflandre « Eugène Penard et la Protistologie » (*La Nature*, n° 3227, mars 1954, p. 110), on lit (2e colonne, 13e ligne) : « C'est le Protiste vivant qui, avant tout, intéressait E. Penard, et il l'allait chercher dans tous les habitats : mares, étangs et tourbières, mousses des bois et des *mers*... ». Il faut lire : « ... mousses des bois et des *murs*... ». E. Penard ne s'est occupé que des Protozoaires d'eau douce.

Le gérant : F. DUNOD. — DUNOD, ÉDITEUR, PARIS. — DÉPÔT LÉGAL : 2e TRIMESTRE 1954, N° 2596. — IMPRIMÉ EN FRANCE.
BARNÉOUD FRÈRES ET Cie, IMPRIMEURS (310566), LAVAL, N° 2947. — 5-1954.

Le gérant : F. DUNOD. — DUNOD, ÉDITEUR, PARIS. — DÉPÔT LÉGAL : 2e TRIMESTRE 1954, No 2596. — IMPRIMÉ EN FRANCE.
BARNÉOUD FRÈRES ET Cie, IMPRIMEURS (310566), LAVAL, No 2947. — 5-1954.